

5. Шарапов В,Шарапова Е., 2012, Универсальные технологии управления,*Техносфера*, Москва, 496.
  6. Яковец Ю.В. и др., 1997, Теория и механизм инноваций в рыночной экономике, Москва, 183.
  7. Федулова Л.І.та ін., 2003, *Менеджмент організацій*, Либідь,Київ, 446.
- 

УДК 332.025 : 628.477

*Нина Владиславна Рашкевич, заведующая лабораторией кафедры охраны труда  
и техногенно-экологической безопасности*

*Национальный университет гражданской защиты Украины*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ  
СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА  
STUDY OF THE COMPOSITION OF COMBUSTION PRODUCTS OF  
SYNTHETIC FIBER**

*Приведены исследования продуктов горения (тления) полимерных материалов на примере текстильного синтетического волокна на основе полиакрилонитрилу (нитрон) с целью установления опасности для окружающей природной среды в случаях пожаров на объектах сохранения отходов.*

**Ключевые слова:** *экологическая безопасность, термоокислительное разложение, полимерные материалы, полиакрилонитрил (нитрон), газообразные продукты горения, токсичность.*

*Studies of combustion products (smoldering) of polymeric materials on the example of textile synthetic fibers based on polyacrylonitrile (nitron) are conducted to establish the danger to the environment in cases of fires at waste conservation facilities.*

**Keywords:** *ecological safety, thermooxidative decomposition, polymeric materials, polyacrylonitrile (nitron), gaseous combustion products, toxicity.*

**Постановка проблемы.** Научно-технический прогресс выступает важным фактором развития общества. Производство ставит задачу перед наукой, а наука предлагает новые технологии производства. Стремление к совершенству и всестороннее удовлетворение потребностей населения приводит к постоянному росту требований к материалам и изделий из них, а это в свою очередь влечет к появлению новых синтетических веществ с последующим образованием отходов с различными физическими и химическими свойствами. Как следствие, идет накопление экологически опасных веществ в виде шламохранилищ, отвалов, терриконов и большого количества свалок бытовых и промышленных отходов как зарегистрированных, так и несанкционированных. При этом происходит загрязнение не только почвенного покрова, но и атмосферного воздуха, подземных и поверхностных водоемов. Особенно такое негативное воздействие усугубляется в условиях возгорания отходов или их скрытого тления. Значительное место среди отходов занимают изделия из пластмассы и синтетических материалов, которые биологически не разлагаются, при этом находятся долгое время в окружающей среде и при горении (тлении) особенно токсичны. Для обеспечения защиты атмосферного воздуха и предупреждения возникновения ЧС существует необходимость классифицировать потенциально опасные техногенные объекты по признакам возможного влияния на атмосферный воздух (физического, химического, биологического, радиоактивного) с целью унификации подходов к проведению дистанционного мониторинга и разработки методик его применения для получения качественных и количественных показателей<sup>13</sup> [1].

По разным литературным источникам, в которых данные могут существенно отличаться, в общей массе бытовых отходов полимерные синтетические материалы составляют 40...60 %. Таким образом, актуальность данной работы объясняется необходимостью исследования термоокислительного разложения полимерных синтетических материалов отходов, что позволит определить состав продуктов горения с целью раннего

---

<sup>13</sup> Вамболь В.В., Рашкевич Н.В. Аналіз методів ідентифікації екологічно-небезпечних речовин в атмосферному повітрі, Науково-технічний журнал, 2017, № 2, 73-78.

выявления скрытой опасности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Начало развития теорий горения относится ко второй половине XIX века. Основоположниками были Я. Вант-Гофф, Н. Ле-Шателье, Е. Маллярме, Н. Шилов, В. А. Михельсон. Большой вклад в развитие и создание современных теорий горения с установкой природы и сущности процессов горения на основе внутренних механизмов внесли Н. Н. Семенов, Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий, А. С. Предводителей и др.

Результаты исследований состава продуктов горения (тления) синтетических волокон выступает важной практической задачей, однако малочисленны и разнообразны.

Значительное количество исследователей акцентируют свое внимание на химических процессах при горении (тлении) полимерных материалов (В. И Флоров, И. Я. Тищенко, Л. А. Москалев, В. В. Веселы, В. Я. Варшавский и др.).

Пожарная опасность материалов и изделий из полимеров определяется характеристиками:

- 1) горючестью, то есть способностью материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения;
- 2) дымовыделением при горении и воздействии пламени;
- 3) токсичностью продуктов горения и пиролиза - разложения вещества под действием высоких температур;
- 4) огнестойкостью<sup>14</sup> [2].

Имея представления про эти характеристики, можно разработать мероприятия по повышению безопасности, спрогнозировать ситуацию на пожаре.

Вопросы повышения пожарной безопасности рассматриваются в работах П. П. Щеглова, В. Л. Иванникова, А. Н. Баратова, Н. И. Константиновой, И. С. Молчадского, А. А. Берлин, Н. С. Зубкова, Н. И. Коровниковой,

---

<sup>14</sup> Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. Соросовский образовательный журнал, 1996, № 9, С. 57-63.

В. В. Олейника, М. Б. Гончикжапова и др. Основные предложения заключаются в ведении добавок (антипиренов). Наиболее известные замедлители горения, которые имеют различный состав и эффективность действия, являются неорганические (38 %), фосфорные (25 %), бромовые (24 %), хлорные (7 %), азотные (6 %) соединения<sup>15</sup> [3].

**Постановка задания и его решение.** Целью данного исследования является экспериментальное определение перечня веществ, которые поступают в атмосферу при горении (тлении) полимерных синтетических материалов отходов.

Объект исследования - процесс термоокислительного разложения полимерных синтетических материалов на примере текстильного синтетического волокна на основе полиакрилонитрила (нитрон).

Предмет исследования - состав продуктов термоокислительного разложения волокна полиакрилонитрила (нитрон).

**Изложение основного материала.** Синтетические волокна относятся к пожароопасным материалам, нагрев которых сопровождается выделением большого количества дыма и токсичных газообразных продуктов. Следует обратить внимание на то, что в реальных условиях доступ кислорода может быть ограниченный. Это приводит к неполному окислению газов, и соответственно образуются более вредные и опасные вещества для живых организмов.

Горение волокон представляет собой очень сложный физико-химический процесс, который включает как химические реакции деструкции, сшивания и карбонизацию полимеров в конденсированной фазе, так и химические реакции превращения и окисления газовых продуктов, а также физические процессы интенсивных тепло- и массопередачи развивающихся во времени и пространстве<sup>16</sup> [2]. Протекание химических реакций зависит от среды, скорости нагрева, массы вещества, природы добавок.

---

<sup>15</sup> Зубкова Н.С. Методы снижения горючести полимерных волокнистых материалов. Полимерные материалы XXI века, 2007, С. 43-75.

<sup>16</sup> Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. Соросовский образовательный журнал, 1996, № 9, С. 57-63.

Необходимо отметить, что горят не сами твердые горючие материалы, а газообразные продукты термического разложения – пиролиза. Возможность горения определяется энергетическим (тепловым) балансом. Большое значение имеет показатель минимальной энергии зажигания. Особую опасность представляет волокнистая пыль, частицы которой имеют в сечении 1...2 мкм и меньше. Смесь в воздухе сгорает так быстро, что приводит к взрыву со всеми вытекающими последствиями<sup>17</sup> [4].

Для определения перечень газообразных продуктов термического нагрева полиакрилонитрильного волокна применялся газовый хроматограф, который позволяет качественно и количественно проанализировать сложные смеси<sup>18</sup> [5], получив на выходе пирогаммы. Экспериментальные исследования показали, что газообразными продуктами термического нагрева полиакрилонитрильного волокна являются водород, синильная кислота, аммиак, окись и двуокись углерода. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние температурной обработки полиакрилонитрила на состав и выход продуктов превращения в инертном и окислительной среде в изотермическом режиме

| Т, °С | Н <sub>2</sub> ,<br>мл на 1г<br>полимеру |                           | NH <sub>3</sub> ,<br>мг на 1г<br>полимеру |                           | HCN,<br>мг на 1г<br>полимеру |                           | CO,<br>мл                    | CO <sub>2</sub> ,<br>мл |
|-------|------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|
|       | в инертной<br>среде                      | при наличии<br>окислителя | в инертной<br>среде                       | при наличии<br>окислителя | в инертной<br>среде          | при наличии<br>окислителя | при<br>наличии<br>окислителя |                         |
| 100   | —                                        | —                         | 0,010                                     | 0,005                     | 0,000                        | 0,081                     | 0,000                        | 0,100                   |
| 170   | —                                        | —                         | 0,015                                     | 0,007                     | 0,000                        | 0,380                     | 0,000                        | 0,370                   |

<sup>17</sup> Коровникова Н.І., Олійник В.В., Шепелєв П.С. Дослідження процесів горіння полімерних волокнистих матеріалів. Проблеми пожежної безпеки, 2008, № 24, 69–74.

<sup>18</sup> Другов Ю. Г., Березкин В. Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха, 1981, 254 с.

|     |        |       |       |       |       |        |       |        |
|-----|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 190 | —      | —     | 0,024 | 0,015 | 0,000 | 0,400  | 0,000 | 1,000  |
| 230 | —      | —     | 0,041 | 0,019 | 0,020 | 1,524  | 0,011 | 2,017  |
| 250 | —      | —     | 0,059 | 0,031 | 1,000 | 2,435  | 0,221 | 2,410  |
| 300 | 0,001  | 0,001 | 0,093 | 0,045 | 1,203 | 3,841  | 0,545 | 3,109  |
| 350 | 0,030  | 0,001 | 1,000 | 0,510 | 3,225 | 6,791  | 1,224 | 4,706  |
| 400 | 2,200  | 0,020 | 0,836 | 0,378 | 3,817 | 7,500  | 2,101 | 6,500  |
| 500 | 8,354  | 0,590 | 0,050 | 0,001 | 4,154 | 8,434  | 3,081 | 9,872  |
| 600 | 13,831 | 4,520 | 0,021 | 0,000 | 7,120 | 14,020 | 5,090 | 15,410 |

\* Погрешность приведенных данных в таблице1 находится в пределах значений  $\pm 0,001-0,003$  и в среднем составляет  $\pm 0,002$ .

Нагревы волокон нитрона проводились в интервале температур 100...600 °С в инертной среде и в присутствии кислорода. В силу того, что аргон не реагирует с неподвижной фазой и разделяющими веществами, он применялся как газ носитель (3,0 – 3,6 мл/с).

Полученные данные показали, что процесс горения (тления) исходного синтетического волокна сопровождается значительным газообразованием.

Рассмотрев опасное влияние основных токсических продуктов полиакрилонитрильного волокна на организм человека можно отметить, что страдает в большей степени нервная, сердечно-сосудистая системы, функции дыхания. Как следствие плохое самочувствие, малая подвижность, удушье с возможным наступлением смерти.

В условиях пожара на живые организмы может действовать не один, а несколько опасных факторов. Такое комбинированное воздействие носит суммарный, синергетический или антагонистический характер.

Примером суммарного воздействия является совместное действие окиси и двуокиси углерода при недостатке кислорода и высокая температура. Повышенная температура приводит к увеличению токсичности отдельных веществ и увеличивает опасность.

При синергетическом воздействии совместное влияние опасных факторов, превышает сумму отдельных воздействий (иногда в 10...30 раз и более). Безопасные в обычных условиях температура 43 °С, концентрация кислорода 17 % и окиси углерода 0,01 % становятся смертельно опасными при попадании очень малых концентраций сернистого ангидрида или двуокиси азота, или цианистого водорода.

Антагонистическое действие проявляется в основном за счет химического взаимодействия между собой продуктов горения (разложения). При этом образуются малотоксичные вещества. Например, аммиак и хлористый водород при взаимодействии образуют малотоксичный хлористый аммоний или диоксид азота и аммиака в присутствии водяных паров образуют нитрат аммония. Антагонизм встречается очень редко, однако он может быть использован для оздоровления окружающей среды.

Проведение регулярных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха позволяет фиксировать реальное состояние объекта, своевременно устанавливать и предупреждать опасную ситуацию – пожар или взрыв.

Предупреждению чрезвычайных ситуаций зависит от наличия адекватной информацией об уровне загрязнения и изменения количественного и качественного состава компонентов окружающей среды, на основании которой можно предусмотреть нежелательные изменения и оперативно принять обоснованные решения.

**Выводы 1.** Определению состава и количества продуктов разложения и горения различных отходов посвящены исследования многих авторов. Однако, данные в разных литературных источниках могут носить противоречивый характер.

2. Экспериментально установлено, что при горении (тлении) полимерных материалов на основе полиакрилонитрила (нитрон) образуются газообразные продукты горения: водород, синильная кислота, аммиак, окись и двуокись углерода.

3. Показана зависимость количественного выхода газообразных продуктов от наличия окислителя в температурном диапазоне 100...600 °С. Кислород активно участвует в образовании окиси и двуокиси углерода, а также цианистого водорода в виде бромциана. Процесс пиролиза приводит к большему массообразованию водорода (после 300 °С) и аммиака (до 350 °С). Выход исходных газообразных продуктов пропорционально увеличивается с температурой нагрева, однако для аммиака это не характерно.

### Литература

1. Вамболь В.В., Рашкевич Н.В. Аналіз методів ідентифікації екологічно-небезпечних речовин в атмосферному повітрі, Науково-технічний журнал, 2017, № 2, 73-78.
2. Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. Соросовский образовательный журнал, 1996, № 9, С. 57-63.
3. Зубкова Н.С. Методы снижения горючести полимерных волокнистых материалов. Полимерные материалы XXI века, 2007, С. 43-75. 1 Берлин А. А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести. Соросовский образовательный журнал, 1996, № 9, С. 57-63.
4. Коровникова Н.І., Олійник В.В., Шепелєв П.С. Дослідження процесів горіння полімерних волокнистих матеріалів. Проблеми пожежної безпеки, 2008, № 24, 69–74.
5. Другов Ю. Г., Березкин В. Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха, 1981, 254 с.

**UDC 614.8**

*Teslenko A., PhD in Physico-Mathematical Sciences , Associate Professor of Department of Fire and Technological Safety of Facilities and Technologies of the National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv*