

О НЕКОТОРЫХ ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПОПАДАНИИ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ

© 2014 А.В. Васильев*

Ключевые слова: ракетные топлива, окружающая среда, атмосфера, эколого-экономический ущерб.

Рассматриваются некоторые подходы к расчету эколого-экономического ущерба при попадании компонентов ракетных топлив в воздушную среду.

Воздействие различных загрязняющих веществ на биосферу становится все более интенсивным и может привести к целому ряду негативных последствий как для окружающей среды, так и для здоровья человека [1, 2, 4, 5, 8]. К числу загрязняющих веществ относятся различные виды современного ракетного топлива [1, 3, 6, 7].

Нормативные и технические документы, регулирующие характеристики ракетных двигателей, оговаривают конструкционные, экономические, эксплуатационные, энергетические и другие требования к характеристикам ракетных топлив, при этом рассмотрению экологических воздействий при попадании ракетных топлив в окружающую среду и соответствующей лимитации их характеристик по экологическому фактору практически не уделяется внимания. Между тем, в настоящее время существует серьезная опасность нанесения существенного экологического ущерба при попадании компонентов ракетных топлив в окружающую среду как на территории Российской Федерации, так и на сопредельных территориях стран СНГ (прежде всего, Казахстана) [3, 6, 7]. Серьезную опасность при воздействии ракетных топлив на окружающую среду представляет загрязнение высокотоксичными компонентами топлив обширных площадей в местах падения отработанных ступеней ракетносителей вдоль ракетных трасс.

Следствием воздействия ракетных топлив в районах падения отработанных ступеней баллистических ракет является весьма неблагоприятная экологическая обстановка. Например, Республика Алтай загрязнена компонентами ракетных топлив настолько, что это влияет на очень низкие медико-демографичес-

кие показатели населения вблизи районов падения вторых ступеней РН “Протон”, “Союз”, при этом средняя продолжительность жизни составляет 48-50 лет. Основной причиной патологических изменений у 70-90% жителей является загрязнение окружающей среды несимметричным диметилгидразином.

Проблема усугубляется все более интенсивным использованием ракетных двигателей и, следовательно, возрастанием негативного экологического воздействия ракетных топлив.

По утверждению казахских ученых, вредные вещества, выделяемые при сгорании ракетного топлива, воздействуя наряду с другими факторами на население Западного Казахстана, приводят к высокой детской и материнской смертности, высокой заболеваемости населения онкологическими заболеваниями, низкой продолжительности жизни и др. Ставится вопрос о возмещении Российской Федерацией нанесенного экологического ущерба. По фактам разлива ракетного топлива на территории Республики Казахстан, особенно при возникновении аварий при запуске ракет-носителей с космодрома “Байконур”, со стороны Казахстана предъявляются значительные финансовые претензии к российской стороне, причем в основном в связи с экологическим ущербом. При этом, как правило, реальный экологический ущерб оказывается значительно ниже [6, 7]. Но обосновать это зачастую сложно, так как имеющиеся в России нормативные и методические наработки в этой области недостаточны. Тем более, не существует единой методики оценки эколого-экономического ущерба от ракетных топлив. Более того, среди ученых и специалистов стран СНГ нет единого мнения даже в том, какие факторы следует учитывать при возникновении ущерба.

* Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, директор института химии и инженерной экологии Тольяттинского государственного университета. E-mail: avassil62@mail.ru.

В данной связи весьма актуальными представляются задачи исследования характеристик экологической опасности при воздействии ракетных топлив, разработки многофакторной методики оценки экологического ущерба при попадании ракетных топлив в окружающую среду, рассмотрения мероприятий по снижению экологического воздействия ракетных топлив до приемлемых гигиенических требований.

В настоящей статье предложены некоторые подходы к оценке эколого-экономического ущерба при попадании ракетных топлив в воздушную среду.

В стратосфере на высотах 11-50 км отсутствие воздушных течений и турбулентного перемешивания продуктов сгорания с воздухом приводит к долговременному загрязнению окружающей среды. Мелкодисперсные частицы окислов алюминия могут существовать в стратосфере более года, отражая и рассеивая солнечное излучение, что влияет на тепловой баланс атмосферы. Твёрдотопливные двигатели SRM при полете "Спейс Шаттл" выбрасывают в окружающую среду 310 000 кг Al_2O_3 .

Характерной особенностью стратосферы является наличие в ней слоя озона, защищающего все живое на земле от действия ультрафиолетового солнечного излучения. Озон разрушается под действием водяных паров, окислов азота и, особенно, хлора. Поэтому пролет ракеты на любом топливе через озоновый слой вызывает его мгновенное полное разрушение в следе ракеты диаметром в несколько сотен метров. Столб продуктов сгорания в стратосфере увеличивается за несколько часов на многие километры. Содержание озона в этом столбе на высотах 16-24 км через 2 ч после пролета ракеты уменьшается на 15-20%. Через неделю после старта ракеты облако продуктов сгорания достигает размеров в несколько сотен километров, и в нем продолжают идти озоноразрушающие реакции, интенсивность которых начнет спадать только лишь через две недели. Одновременно в стратосфере и верхней части тропосферы происходит образование озона. Поэтому примерно через три недели после старта ракеты с учетом озоноразрушающих и восстанавливающих озон реакций в вертикальном столбе диаметром ~500 км содержание озона уменьшается на 1,7-2% по сравнению с невозмущенным естественным уровнем, а уменьшение содержания озона на 1% в атмосфере инициирует рост заболеваний населения раком кожи на 2%.

На высотах 40-50 км отделяются первые ступени ракетносителей. Поэтому в мезосфере и ионосфере при полетах ракетносителей "Энергия" или "Спейс Шаттл" работают двигатели на топливе $O_{2ж} + H_{2ж}$, в продуктах сгорания которого основными компонентами являются пары воды и молекулы водорода. Однако на высотах более 50 км отсутствуют молекулы воды. Поэтому появление в верхних слоях атмосферы большого количества паров воды следует считать загрязнением окружающей среды, нарушающим естественное равновесие. На высотах 80-90 км наиболее низкий уровень температуры, поэтому молекулы воды конденсируются с образованием ледяных кристаллов, что может привести к возникновению искусственных облаков, состоящих из кристалликов льда. В результате запусков ракет в верхних слоях атмосферы отмечается накопление компонентов искусственного происхождения.

Отдельную проблему представляет оценка экологического ущерба при воздействии компонентов ракетных топлив на озоновый слой. Интенсивными источниками поступления соединений хлора и азота в озоновый слой являются ракеты, содержащие в выхлопных газах соединения азота и хлора. Один запуск космической системы "Шаттл" сопровождается разрушением около 0,3% озона, что составляет около 10^7 т озона.

Для оценки разрушения озона при прохождении ракетой-носителем данного слоя атмосферы от поверхности Земли до высоты h достаточно знать ее калибр (миделево сечение). При этом расчетную концентрацию молекул можно определить по следующей формуле:

$$M_O = \eta \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{K} \cdot Q \cdot f(h), \quad (1)$$

где M_O - число молекул озона в 1 см^3 ; η - безразмерный коэффициент, учитывающий режим истечения из сопла ракеты-носителя; h - высота в атмосфере от поверхности Земли, км; $f(h)$ - функция, учитывающая высоту полета ракеты-носителя; Q - коэффициент, учитывающий тип ракеты-носителя; K - калибр ракеты-носителя, см.

Увеличение частоты запусков тяжелых ракетносителей может привести к нарушению естественного равновесия в различных слоях атмосферы, последствия которого пока трудно прогнозировать.

Для экономической оценки ущерба, причиняемого при попадании ракетных топлив в воздушную среду, предлагается следующая формула:

$$\sum \text{ЭК} = \alpha \cdot \gamma \cdot \lambda_T \cdot f \cdot M_B, \quad (2)$$

где $\sum \text{ЭК}$ - суммарный экономический ущерб, руб./год; α - показатель, учитывающий степень экологической опасности топлива (определяется с учетом негативного экологического воздействия); γ - константа, численное значение которой принимается равным 10 условным единицам на условную тонну выбросов ракетных топлив, $Z_{у.е.}/\text{усл. т}$ (эта константа может меняться в зависимости от изменения цен); λ_T - показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над различными территориями (может различаться от 0,05 для пастбищ и сенокосов до 10 для курортов, санаториев и т.п.); f - безразмерная поправка, учитывающая характер рассеяния примеси в атмосфере; M_B - приведенная масса годового выброса загрязнений из источника, $\text{усл.т}/\text{год}$.

Величину приведенной массы выбросов ракетных топлив в воздушную среду за определенный период времени (неделя, месяц, год и пр.) предлагается определять по формуле

$$M = \sum_{i=1}^I N \cdot A_i \cdot m_i, \quad (3)$$

где N - общее число ракет-носителей, выпущенных за оцениваемый период времени; A_i - безразмерный показатель относительной экологической опасности отдельного компонента ракетного топлива; m_i - суммарная масса выброса i -го компонента ракетного топлива в атмосферу, кг.

На основании данных, приведенных в настоящей статье, можно сделать вывод, что ракетные топлива и их компоненты представляют собой серьезный источник негативного воздействия на окружающую среду и человека, причем масштабы их воздействия будут значительно возрастать. В связи с этим необходимо разработать эффективные меры по минимизации экологических воздействий ракетных топлив, в

том числе на основе новых подходов и методик оценки эколого-экономического ущерба при попадании ракетных топлив в окружающую среду (в атмосферу, гидросферу, литосферу). Необходимо также ужесточить требования к используемым ракетным топливам с точки зрения их экологической опасности.

1. Афанасьев В.А., Евстигнеева Н.А., Чудецкий Ю.В. О путях решения проблемы негативного влияния районов падения отработанных ступеней баллистических ракет на окружающую среду // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: сб. тр. 4-й Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 1999. Т. 2. С. 248-250.

2. Васильев А. "Зеленая политика": проблемы и структура // Pro et Contra. 2002. Т. 7. № 1. С. 84-93.

3. Васильев А.В. Проблемы экологического воздействия ракетных топлив // Актуальные проблемы надежности технологических, энергетических и транспортных машин: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию Самар. гос. техн. ун-та, г. Самара, 25-27 нояб. 2003 г. Самара, 2003. Т. 1. С. 137-145.

4. Васильев А.В., Перешивайлов Л.А. Глобальный экологический кризис и стратегии его предотвращения. Региональные аспекты защиты окружающей среды: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по эколог. специальностям / Федер. агентство по образованию; Тольятт. гос. ун-т. Тольятти, 2006.

5. Васильев А.В., Васильева Л.А. К вопросу о системном обеспечении экологической безопасности в условиях современного города // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. 2003. Т. 5. № 2. С. 363-368.

6. Васильев А.В., Васильева Л.А., Марченков Р.Е. Воздействие современных ракетных топлив на окружающую среду и человека // Вестн. Волж. ун-та им. В.Н. Татищева. Серия "Экология". Тольятти, 2002. С. 198-215.

7. Марченков Р.Е., Смолык И.И., Васильев А.В. Экологические проблемы эксплуатации ракетных двигателей // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сб. тр. 1-й Междунар. науч.-техн. конф. ELPIT-2003, г. Тольятти, 11-14 сент. 2003 г. Тольятти, 2003. С. 162-166.

8. Саксонов С.В. Концепция, задачи и основные подходы регионального флористического мониторинга в целях охраны биологического разнообразия приволжской возвышенности: дис. ... д-ра биол. наук. Тольятти, 2001.

Поступила в редакцию 21.01.2014 г.