

УДК 621.593

<sup>1</sup>*В.Л. Бондаренко*, доктор техн. наук; <sup>2</sup>*А.Н. Кислый*; <sup>3</sup>*О.В. Дьяченко*, канд. техн. наук<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Лефортовская наб., д. 1, факультет «Энергомашиностроение», г. Москва, РФ, 105005<sup>2,3</sup>ООО «Крион Инжиниринг», Таможенная пл., 1А, г. Одесса, Украина, 65026e-mail: <sup>1</sup>*vbondarenko@raregases.org*; <sup>2</sup>*aleksandr.ank.32@gmail.com*; <sup>3</sup>*diachenko-ov@yandex.ru*ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0003-1562-7255>; <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0001-5422-9511>;<sup>3</sup><http://orcid.org/0000-0001-5999-3965>

## КРИПТОН И КСЕНОН ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ОТ МИКРОПРИМЕСЕЙ

*Атмосферный воздух является основным источником редких газов. В процессе получения инертных газов высокой чистоты вместе с Kr и Xe происходит обогащение близких к ним по свойствам компонентов воздуха. Исследованы пути попадания в атмосферу микропримесей химического происхождения, проанализированы свойства бинарных смесей, образуемых компонентами воздуха. Исследованы способы очистки целевых продуктов от указанных веществ, приведены имеющиеся в литературе технические данные предназначенных для этого опытно-промышленных установок. Предоставленная информация будет полезна специалистам, занимающимся проектированием и эксплуатацией аппаратов, входящих в технологическую структуру получения тяжелых инертных газов.*

**Ключевые слова:** Криптон и ксенон высокой чистоты. Очистка от фторсодержащих компонентов воздуха. Выжигание. Катализатор. Ректификация. Адсорбция.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Основным источником промышленного получения тяжелых инертных газов является атмосфера Земли. Криптон- и ксенон-содержащие смеси извлекают в качестве побочных продуктов в процессе разделения воздуха [1–7].

В последние несколько десятилетий состав атмосферного воздуха претерпевает существенные изменения, обусловленные деятельностью человека [8–15]. Наиболее масштабным и значительным является загрязнение среды несвойственными ей веществами химической природы промышленно-бытового происхождения. Среди них — газообразные и аэрозольные вещества, в состав которых входят различные фторсодержащие газы: CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, SF<sub>6</sub> и другие соединения. Указанные газы концентрируются во всех технологических процессах, направленных на извлечение и обогащение Kr-Xe-концентратов и получение чистых газовых продуктов [16–25].

Представленная работа посвящена анализу источников загрязнения атмосферы фторсодержащими газами, свойств смесей, образованных указанными веществами с тяжелыми инертными газами. Целью исследования является поиск экономичных методов обогащения и очистки криптона и ксенона от микропримесей, определение этапа технологии, где их внедрение будет наиболее рациональным.

### 2. ИСТОЧНИКИ И ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОПРИМЕСЕЙ В КРИПТОН- И КСЕНОН-СОДЕРЖАЩИХ СМЕСЯХ

#### 2.1. Атмосфера Земли — источник микропримесей, вызывающих сложности в процессе получения продукции высокого качества

Современные жители Земли, несмотря на все достижения цивилизации, остаются тесно связанными с окружающим миром. С развитием промышленности вмешательство человека в природу привело к значительным изменениям биосферы нашей планеты, в том числе состава воздуха, которым мы дышим. Атмосфера Земли подвергается нарастающему антропогенному воздействию, приводящему к появлению и накоплению различных химических веществ [8–11].

В настоящее время в воздухе промышленных городов в ощутимых количествах присутствует целый «букет» вредных соединений, образующихся в виде побочных продуктов как результат реализации разнообразных технологических процессов. Повышение содержания отдельных газов приводит к возникновению, так называемого, парникового эффекта — увеличения средней температуры воздуха в связи с недостаточной прозрачностью атмосферы для инфракрасных лучей. Этот эффект не позволяет части тепловой энергии, излучаемой Солнцем и отражаемой от поверхности Земли, беспрепятственно покидать пределы земного притяжения. Основные газообразные компоненты, ответственные за парниковый эффект, — это водяной пар, диоксид углерода, озон, метан, окислы азота, хлор- и фторсодержащие соединения. Хлорфторуглероды, широко применяемые в различных отраслях народного хозяйства, при попадании в стратосферу вызывают разрушение озонового слоя планеты. Суммарный выброс газов, загрязняющих атмосферу, ещё