

УДК 629.764.07

doi:10.20998/2413-4295.2019.01.13

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПООЧЕРЕДНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА В ОДНОМ АГРЕГАТЕ

**О. И. ШИНКОРЕНКО<sup>1</sup>, М. В. КОСТЕНКО<sup>1</sup>, М. А. ЦЕЙТЛИН<sup>2</sup>, В. Ф. РАЙКО<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, г. Днепр, УКРАИНА

<sup>2</sup> кафедра химической техники и промышленной экологии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, УКРАИНА

\*e-mail: shinkorenkooleg@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** В статье рассматривается возможность применения агрегатов термической нейтрализации компонентов ракетного топлива для обезвреживания опасных промышленных отходов. Рассматриваются преимущества агрегатов термической нейтрализации, описывается принцип работы агрегатов, на примере высококипящих, токсичных компонентов ракетного топлива приводятся химические реакции, которые происходят в камере сжигания. Камера сжигания является составной частью агрегата, именно в камере сжигания в среде создаваемых высоких температур происходит процесс уничтожения опасных веществ. Учитывая высокую стоимость агрегатов нейтрализации, что будет являться фактором препятствующим широкомасштабному внедрению агрегатов для снижения техногенной нагрузки на экологию Украины, предлагается вариант сокращения затрат при использовании агрегатов термической нейтрализации путем объединения функции агрегата нейтрализации окислителя и агрегата нейтрализации горючего в едином, универсальном агрегате. Статья обосновывает актуальность и необходимость работ по созданию универсального агрегата термической нейтрализации с точки зрения экономических и экологических аспектов. В статье укрупненно описывается технология и методика исследовательских испытаний опытных образцов узлов подачи паров и промстоков высококипящих компонентов ракетного топлива в агрегат нейтрализации. Узлы подачи паров и промстоков высококипящих компонентов ракетного топлива рассматриваются, как наиболее критичные составные части универсального агрегата нейтрализации с точки зрения смены нейтрализуемого вещества. Опыты проводились на водных растворах компонентов ракетного топлива, которые в данном случае, имитировали контакт внутренних полостей узлов подачи с агрессивными, токсичными средами. Создавались условия, при которых существовала вероятность взаимодействия остатков компонента ракетного топлива в застойных зонах в момент смены подаваемого компонента. В рамках проведенных исследовательских испытаний опытных образцов были рассмотрены и проанализированы полученные результаты. Приводятся выводы, подтверждающие практически возможность применения единых узлов подачи.

**Ключевые слова:** агрегат нейтрализации; узлы подачи; поочередная подача; взаимодействие компонентов ракетного топлива; универсальный агрегат термической нейтрализации

## STUDY OF THE POSSIBILITY OF SEQUENTIAL THERMAL NEUTRALIZATION OF THE ROCKET FUEL WASTE IN ONE UNIT

**O. SHINKORENKO<sup>1</sup>, M. KOSTENKO<sup>1</sup>, M. TSEYTLIN<sup>2</sup>, V. RAYKO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, UKRAINE

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** In the article it is suggested to consider possibility of application of aggregates of thermal neutralization of components of rocket fuel for rendering of industrial hazwastes harmless. Advantages of aggregates of thermal neutralization are examined, principle of work of aggregates is described, and around to the example of high boiling, toxic components of rocket fuel chemical reactions that take place in the chamber of incineration are brought. A chamber of incineration is component part of aggregate, exactly in the chamber of incineration there is a process of elimination of hazardous substances in the environment of the created high temperatures. Taking into account the high cost of aggregates of neutralization, that will be a factor impedimental to widespread introduction of aggregates for the decline of the technogenic loading on ecology of Ukraine, the variant of reduction of expenses is offered at the use of aggregates of thermal neutralization by the association of function of aggregate of neutralization of oxidant and aggregate of neutralization of fuel in a single, universal aggregate. The article grounds actuality and necessity of works on creation of universal aggregate of thermal neutralization from the point of view of economic and ecological aspects. In the article technology and methodology of research tests of pre-production models of knots of serve of steams and hazwastes of high boiling components of rocket fuel are large-sized described in the aggregate of neutralization. The knots of serve of steams and hazwastes of high boiling components of rocket fuel are examined, as the most critical component parts of universal aggregate of neutralization from the point of view of changing of the neutralized substance. Tests carried out on water solutions of components of rocket fuel, which in this case, imitated the contact of internal cavities of knots of serve with aggressive, toxic environments. Terms at that there was probability of co-operation of bits and pieces of component of rocket fuel in stagnant zones in the moment of changing of the

given component were created. Within the framework of the conducted research tests of pre-production models were considered and analyzed the got results. Conclusions over, confirmative possibility of application of single knots of serve practically, are brought.

**Keywords:** neutralization unit; feed units; alternate feed; interaction of rocket fuel components; universal thermal neutralization unit

## Введение

Обезвреживание и утилизация опасных промышленных отходов в настоящее время является одним из способов снижения техногенной нагрузки на экологию Украины [1]. Это создает экономические и технологические предпосылки необходимости разработки и внедрения новых безопасных методов избавления биосферы от опасности ее загрязнения отходами производства и потребления [2,3].

Одним из направлений решения этой задачи является создание технологий и аппаратуры термической нейтрализации (пиролиза) отходов, образующихся при работах с высококипящими компонентами ракетного топлива (КРТ). Такими отходами являются тетраоксид азота (азотный тетраоксид (АТ)) и несимметричный диметилгидразин (НДМГ) в жидком состоянии в виде водных растворов и в газообразной форме в виде дренажных газов. Эти отходы являются высокотоксичными и относятся к первому классу опасности [4].

Принцип действия агрегатов нейтрализации (АН) основан на процессе доокисления опасных горючих веществ в воздушной среде или восстановления окислителя в топливозооной среде под воздействием высоких температур в камере термической нейтрализации. Такой процесс позволяет полностью уничтожить токсичные и опасные вещества [5]. В настоящее время рассматривается возможность применения агрегатов нейтрализации ракетного топлива для обезвреживания токсичных отходов различного происхождения, которые накапливаются в хранилищах, создавая риск возникновения техногенных катастроф [6]. Применение АН рассматривается в рамках уничтожения отходов, схожих по свойствам с КРТ (АТ и НДМГ). Далее по тексту под КРТ будут подразумеваться, также, и опасные промышленные отходы, которые планируется уничтожать при помощи АН.

Существующие АН разделяются на агрегаты нейтрализации окислителя (АН О) и агрегат нейтрализации горючего (АН Г). Это объясняется многолетним опытом практической эксплуатации ракетно-космических комплексов с применением КРТ, который неоднократно подтверждал целесообразность обязательного соблюдения мер безопасности при обращении с высококипящими КРТ. Одной из таких мер является разделение работ с АТ и НДМГ территориально и по времени. Эти меры безопасности касались и АН, однако, ввиду высокой стоимости агрегатов, подход по использованию АН О или АН Г для определенных видов отходов является препятствием для применения АН в проектах по нейтрализации опасных промышленных отходов.

## Цель работы

Оценка возможности создания универсального агрегата термической нейтрализации (УАТН), который совмещал бы в себе функции АН О и АН Г и позволял бы поочередно производить нейтрализацию опасных веществ, схожих по химическим свойствам с АТ и НДМГ для снижения влияния вышеуказанного отрицательного фактора (высокой стоимости агрегатов, работающих в паре).

Предпосылки к идее последовательной нейтрализации отходов горючего и окислителя основаны на применении на входе в агрегат разбавленных КРТ, доведенных до параметров, соответствующих технической характеристике агрегата. Разбавленные отходы КРТ в виде промстоков и дренажных газов характеризуются более низкой активностью взаимодействия. При этом вопросы применения оборудования, объединяющего работы с КРТ до настоящего времени не рассматривались, ввиду существующей опасности, обусловленной высокой энергетикой взаимодействия АТ и НДМГ.

## Обзор литературы

Существуют различные способы утилизации компонентов ракетного топлива [7,8], такие как: переработка в минеральную подкормку для азотсодержащих компонентов, переработка на промышленных предприятиях, применение в качестве добавок в дизельное топливо (самин, изонит), утилизация методом высокотемпературного сжигания мобильными установками, утилизация методом высоко-температурного сжигания в промышленных установках.

Применение УАТН относится к утилизации методом высокотемпературного сжигания мобильными установками. Данный метод имеет ряд преимуществ. К ним относятся:

- отсутствие необходимости транспортировки опасных веществ на нейтрализацию, возможность использования агрегата непосредственно в зоне хранения отходов и опасных веществ;

- полная нейтрализация опасных веществ, характеризуется отсутствием после переработки побочных химических продуктов.

Эти преимущества позволяют при эксплуатации УАТН сократить сопутствующие расходы и обеспечить конкурентоспособные характеристики агрегата нейтрализации.

В основу принципа работы агрегатов нейтрализации заложен метод высокотемпературного сжигания остаточных продуктов КРТ.

По своим свойствам АТ представляет собой сильный окислитель, высокотоксичный и

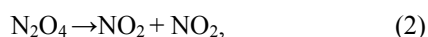
коррозионно-активный. При смешивании с органическими веществами взрывоопасен [9]. НДМГ – это легковоспламеняющаяся жидкость. В присутствии окислителя существует высокая вероятность взрыва. При контакте с окислителем воспламенение возможно уже с 50% водным раствором НДМГ [10].

Реакция окисления НДМГ в условиях воздействия высокой температуры (900-1050°C) имеет вид [1,2]:

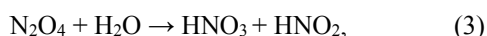


В основе процесса пиролиза дренажных газов и водных растворов АТ лежат процессы термического разложения АТ и восстановления окислов азота в топливовоздушной среде [2,3].

Тetraоксид азота  $\text{N}_2\text{O}_4$  – димер, который может существовать при температуре ниже 140°C. При более высоких температурах происходит диссоциация:



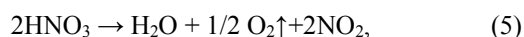
В водном растворе  $\text{N}_2\text{O}_4$  взаимодействует с водой по реакции:



Азотистая кислота, в свою очередь, распадается:



Под воздействием высокой температуры более 1000 °C азотная кислота разлагается по реакции:



Процесс взаимодействия АТ и НДМГ характеризуется выделением большого количества энергии [3] и описывается уравнением:



#### Методика исследования

С целью объединения функций АН О и АН Г в одном агрегате проведена теоретическая оценка наиболее критичных узлов агрегата с точки зрения смены КРТ. По результатам аналитической оценки была обоснована целесообразность создания УАТН на базе АН Г. При предварительной проработке возможности создания УАТН были определены узлы агрегата, которые с наибольшей степенью вероятности подвержены воздействию критических нагрузок, обусловленных взаимодействием КРТ при смене нейтрализуемого вещества, а также сформированы предложения и мероприятия по доработке АН Г.

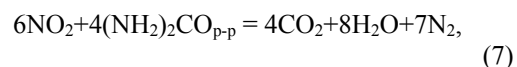
С целью проверки возможности создания УАТН и экспериментального подтверждения безопасной работы наиболее критичных узлов универсального агрегата были проведены исследовательские испытания опытных образцов узла подачи паров и узла подачи промстоков в УАТН, в

которых, с учетом проведенного анализа, возможно возникновение аварийной ситуации.

Испытания проводились на высококипящих компонентах ракетного топлива (АТ и НДМГ) в два этапа. На первом этапе в лабораторных условиях исследовалась интенсивность взаимодействия водного раствора АТ с водным раствором НДМГ с определением возможных значений температуры, которые могут создаваться в узлах подачи, при смене КРТ. На втором – проверялась технология подготовки опытных узлов подачи промстоков и паров КРТ к смене стоков горючего на окислитель и наоборот, а также выявлялись возможные последствия их взаимодействия в застойных зонах указанных устройств.

В качестве нейтрализующего вещества для удаления остатков КРТ в застойных зонах оборудования перед сменой компонента применен, кроме воды, и вариант с промывкой полости узла подачи 30 % водным раствором карбамида  $((\text{NH}_2)_2\text{CO})_{\text{p-p}}$ . Ожидаемый эффект должен был обеспечить более качественное, по сравнению с водой, удаление остатков КРТ, учитывая тот факт, что водный раствор карбамида должен реагировать с оксидами азота  $\text{NO}_x$ .

Реакция водного раствора карбамида с оксидами азота описывается следующим уравнением:



Для сравнения показателей эффективности процесса нейтрализации объекта, удаление остатков КРТ на каждом режиме выполняли в следующем порядке: при первых двух заполнениях (НДМГ – АТ) узла подачи промстоками – удаление КРТ выполняли раствором карбамида (30%), а последующие два заполнения – водой.

В лабораторном исследовании изучали зависимость изменения температуры реакционной смеси от концентрации смешиваемых реагентов, в качестве которых использовали 10-ти, 20-ти и 30-ти процентные водные растворы АТ и НДМГ, а также 30 % раствор карбамида.

Заранее подготовленные реагенты смешивали в сосуде, с возможностью измерения температуры. В процессе опыта фиксировали изменение температуры и визуально оценивали признаки интенсивности протекания реакции.

Исследовательские испытания опытных образцов узла подачи паров КРТ и узла подачи промстоков КРТ заключались в контроле процессов, проходящих в данных узлах по изменению температуры и давления. Для этого в узлы подачи КРТ были установлены соответствующие датчики температуры, и давления. Места установки располагались в непосредственной близости к застойным зонам (местам, где возможна задержка утилизируемых веществ).

Схема стенда испытаний узлов подачи КРТ в УАТН приведена на рис. 1.

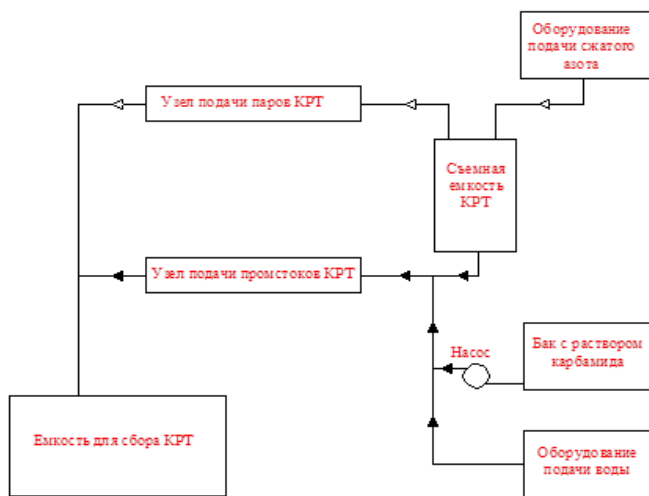


Рис. 1 – Схема стенда испытаний узлов подачи КРТ в УАТН

Эксперимент состоял в попеременном заполнении узла подачи промстоков водными растворами КРТ с последующей выдержкой в течение 2-х часов при непрерывном контроле давления и температуры. Перед сменой компонента проводилась нейтрализация узлов подачи путем промывки 30 % раствором карбамида или водой и продувки азотом. Для оценки качества промывки отбирались и подвергались химическому анализу смывы из испытываемых узлов. В опытах использовали растворы КРТ с теми же концентрациями, что и в лабораторных условиях.

Для узла подачи паров проводилось попеременное заполнение испытываемых устройств дренажными газами и выдержка под рабочим давлением 0,2 МПа. Концентрация газов в опытах варьировалась и составляла 80, 100 и 120 % от номинальных параметров на входе в агрегат. Номинальная концентрация соответствует максимальному установленному значению на входе в агрегат нейтрализации, согласно техническим характеристикам агрегата.

В процессе испытаний проводилась фиксация данных, а именно нарастание давления и/или увеличение температуры, отражающие процесс реагирования подаваемого компонента ракетного топлива с образовавшимися в застойных зонах остатками предыдущего компонента, после нейтрализации узла на предыдущем этапе.

## Обсуждение результатов

### Результаты лабораторного эксперимента

Исследование соединения водного раствора НДМГ с водным раствором карбамида показало, что температура реакционной смеси в течение опыта не меняется, а видимые признаки протекания химического взаимодействия (изменение цвета, выделение осадка или газов) отсутствуют.

Что касается взаимодействия водного раствора АТ с водным раствором карбамида, то в процессе опыта раствор обесцвечивался (до реакции водные растворы АТ имели цвет от голубого до бирюзового в зависимости от концентрации). Реакция характеризовалась образованием нейтральных веществ. Также, ожидаемо, наблюдалось выделение газа, причем интенсивность газообразования росла с увеличением концентрации АТ. В то же время значительного изменения температуры реакционной смеси не наблюдалось. Во время взаимодействия 30 % водного раствора карбамида с 50 % водным раствором АТ наблюдалось выпадение нерастворимого осадка белого цвета. Поэтому, во избежание засорения элементов опытного образца продуктами взаимодействия АТ и карбамида, от использования последнего для подготовки (нейтрализации) узла подачи перед сменой компонента пришлось отказаться.

Реакция растворов АТ и НДМГ сопровождалась ростом температуры и выделением паров. Концентрации реагентов оказывают значительное влияние на интенсивность взаимодействия. Так, если содержание АТ и НДМГ в водном растворе составляло 10 %, внешних проявлений реакции не наблюдалось, а температура прореагировавшей смеси повышалась на 7°C. Но уже при 20-ти процентных растворах наблюдалось интенсивное выделение газов и повышение температуры на 20°C.

### Результаты исследовательских испытаний узлов подачи паров и промстоков КРТ.

Результаты промывки узлов подачи паров и промстоков после работы с АТ показали, что концентрация этого компонента в смывах снижалась в среднем в 50-000 раз. В газовой фазе снижение концентрации АТ достигало в среднем в 5000-50000 раз.

Промывка исследуемого оборудования после работы с НДМГ показала, что концентрация в смывах снижалась в среднем в 5-20 раз, а в газовой фазе в среднем в 2-5 раз.

Как видно из приведенных данных, снижение в результате промывки концентрации НДМГ, как в смывах, так и в газовой фазе оказалось на несколько порядков меньшим, чем это наблюдалось для АТ. По нашему мнению, это объясняется известным свойством НДМГ адсорбироваться материалом внутренних поверхностей оборудования.

Опыты с последовательной подачей водных растворов АТ и НДМГ с промежуточной промывкой показали лишь незначительные изменения температуры внутри оборудования для подачи растворов. Аналогичные показатели в части изменения температуры наблюдались и в узле подачи паров. Изменения значений давления в узле подачи промстоков также носили характер незначительных колебаний.

В то же время, в узле подачи паров наблюдалось определенное взаимодействие

остаточных продуктов КРТ, накапливающихся в застойных зонах. Это взаимодействие характеризовалось увеличением давления при заполнении узла парами НДМГ, а также, с меньшей интенсивностью, при заполнении узла парами АТ. Этот же эффект, как указывалось выше, наблюдался и в лабораторных опытах. С большой долей вероятности реакция взаимодействия КРТ имела место за счет сконденсировавшихся остатков предыдущего компонента топлива. Следует, однако, отметить, что зафиксированные показатели наличия реакции не имели значений, которые можно было бы рассматривать как потенциально опасные.

В целом, исследовательские испытания показали эффективность предложенного способа подготовки узлов подачи нейтрализуемых веществ.

### Выводы

Исследовательские испытания опытных образцов узлов подачи КРТ в УАТН подтвердили возможность применения единых магистралей подачи паров и промстоков КРТ в агрегат нейтрализации.

По результатам анализа полученных показателей были выработаны мероприятия и предложения по доработке конструкции и технологии работы АНГ, которые должны быть учтены при проектировании УАТН.

Проведенные испытания дают возможность обосновать перспективность проекта по созданию УАТН и дальнейшего внедрения его в работы по утилизации опасных промышленных отходов, как для использования в перспективных проектах РКК, работающих с высококипящими КРТ, так и с целью снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

### Список литературы

1. **Онищенко, Г. Г.** Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / **Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин.** – М. – 2001. – 317 с.
2. **Мельник, Л. Г.** Методы оценки экологических потерь: Монография / **Л. Г. Мельник, О. И. Каринцева.** – Сумы. – 2004. – 122 с.
3. **Телиженко, А. М.** Отходы – вторичные ресурсы: управление, экономика, организация: коллективная монография: в 2 томах / **А. М. Телиженко.** – Сумы. – 2013. – 258 с.
4. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5. **Шинкоренко, О. И.** Агрегаты нейтрализации паров и водных растворов компонентов ракетного топлива. Накопленный опыт и перспективы совершенствования агрегатов нейтрализации / **О. И. Шинкоренко, А. А. Старков** // *Космическая техника. Ракетное вооружение.* – 2018. – Вып. 1. – С. 58-62.
6. **Касимов, А. М.** Воздействие накопителей промышленных отходов на окружающую среду / **А. М. Касимов, В. Ю. Джафаров, А. В. Носова** // *Людина і*

- довкілля. Проблеми неоекології.* – 2004. – Вип. 5. – С. 21-26.
7. **Колесников, С. В.** Окисление несимметричного диметилгидразина (гептила) и идентификация продуктов его превращения при проливах. Монография / **С.В. Колесников.** – Новосибирск: ИП «СибАК», 2014. – 110 с.
  8. Жидкое ракетное топливо в регионе ОБСЕ: обзор аспектов утилизации. – 2008. – URL: <https://www.osce.org/ru/fsc/35906?download=true>.
  9. **Касимов, А. М.** Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами / **А. М. Касимов, В. Т. Семенов, Н. Г. Щербань, В. В. Мясоедов.** – Харьков : ХНАГХ, 2008. – 511 с.
  10. **Егорычев, В. С.** Топлива химических ракетных двигателей / **В. С. Егорычев, В.С. Кондрусев.** – Самара: Изд. СГАУ, 2007. – 72 с.

### References (transliterated)

1. **Onischenko, G.G., Novikov, S. M., Rahmanin, Yu. A.** Osnovyi otsenki riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii himicheskikh veschestv, zagryaznyayuschih okruzhayuschuyu sredu [Fundamentals of risk assessment for public health when exposed to chemicals polluting the environment]. М., 2001, 317.
2. **Melnik, L. G., Karintseva, O. I.** Metodyi otsenki ekologicheskikh poter: Monografiya [Environmental Loss Assessment Methods: Monograph]. Sumy, 2004, 122.
3. **Telizhenko, A. M.** Othodyi – vtorichnyie resursyi: upravlenie, ekonomika, organizatsiya: kollektivnaya monografiya: v 2 tomah [Waste – secondary resources: management, economics, organization: collective monograph: in 2 volumes]. Sumy: Sumy State University, 2013, 258.
4. GOST 12.1.007-76 Sistema standartov bezopasnosti truda. Vrednyie veschestva. Klassifikatsiya i obschie trebovaniya bezopasnosti. [SS 12.1.007-76. System of standards of safety of work. Harmful substances. Classification and general safety requirements].
5. **Shinkorenko, O. I., Starkov, A. A.** Agregaty neytralizatsii parov i vodnyih rastvorov komponentov raketnogo topliva. Nakoplenyyi opyt i perspektivyi sovershenstvovaniya agregatov neytralizatsii [Units for the neutralization of vapors and aqueous solutions of rocket fuel components. The accumulated experience and prospects for improving the units of neutralization]. *Kosmicheskaya tehnika. Raketnoe vooruzhenie [Space technology. Missile weapons]*, 2018, 1, 58-62.
6. **Kasimov, A. M., Dzhafarov, V. Yu, Nosova, A. V.** Vozdeystvie nakopiteley promyshlennyyih othodov na okruzhayuschuyu sredu [The environmental impact of industrial waste storage]. *Lyudina I dovkllyya. Problemi neoeologiiYi. [Man and the environment. Problems of neoecology]*, 2004, 5, 21-26.
7. **Kolesnikov, S. V.** Okislenie nesimmetrichnogo dimetilgidrazina (geptila) i identifikatsiya produktov ego prevrascheniya pri prolivah. Monografiya [Oxidation of asymmetric dimethylhydrazine (heptyl) and identification of the products of its transformation during straits. Monograph]. Novosibirsk : NP «SibAK», 2014, 110.
8. Zhidkoe raketnoe toplivo v regione OBSE: obzor aspektov utilitatsii. [Liquid Propellant in the OSCE Area: Overview of Disposal Aspects], 2008. Available at: <https://www.osce.org/ru/fsc/35906?download=true>.

9. **Kasimov, A. M., Semenov, V. T., Scherban, N. G., Myasoedov, V. V.** *Sovremennyye problemy i resheniya v sisteme upravleniya opasnymi othodami [Current problems and solutions in the hazardous waste management system]*. Kharkov: KhNAME, 2008, 511.
10. **Egoryichev, V. S., Kondrusev, V. S.** *Topлива himicheskikh raketnykh dvigateley [Fuel chemical rocket engines]*. Samara: Ph. SSAU, 2007, 72.

#### Сведения об авторах (About authors)

**Шинкоренко Олег Игоревич** – начальник группы Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, г. Днепр, Украина, e-mail: shinkorenkooleg@gmail.com.

**Oleg Shinkorenko** – Head of the group at Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine, e-mail: shinkorenkooleg@gmail.com.

**Костенко Михаил Викторович** – начальник отдела Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, г. Днепр, Украина, e-mail: mixey\_k@i.ua.

**Mikhail Kostenko** – Head of the department at Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, Ukraine, e-mail: mixey\_k@i.ua.

**Цейтлин Михаил Абрамович** – доктор технических наук, профессор, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, ORCID: 0000-0002-2452-7814, e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

**Mikhail Tseytlin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-2452-7814; e-mail: michelzeitlin@gmail.com.

**Райко Валентина Федоровна** – кандидат технических наук, профессор, кафедра химической техники и промышленной экологии, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, ORCID: 0000-0002-5527-1874, e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

**Valentina Rayko** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, ORCID: 0000-0002-5527-1874, e-mail: raiko.hpi@gmail.com.

*Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

**Шинкоренко, О. И.** Исследование возможности поочередной термической нейтрализации отходов ракетного топлива в одном агрегате / **О. И. Шинкоренко, М. В. Костенко, М. А. Цейтлин, В. Ф. Райко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 1. – С. 114-119. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.13.

*Please cite this article as:*

**Shinkorenko, O., Kostenko, M., Tseytlin, M., Rayko, V.** Study of the possibility of sequential thermal neutralization of the rocket fuel waste in one unit. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 1, 114-119, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.13.

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Шинкоренко, О. І.** Дослідження спроможності почергової термічної нейтралізації відходів ракетного палива в одному агрегаті / **О. І. Шинкоренко, М. В. Костенко, М. А. Цейтлін, В. Ф. Райко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 1. – С. 114-119. – doi:10.20998/2413-4295.2019.01.13.

**АНОТАЦІЯ** У статті розглянуто можливість застосування агрегатів термічної нейтралізації компонентів ракетного палива для знешкодження небезпечних промислових відходів. Наведено переваги агрегатів термічної нейтралізації, описано принцип роботи агрегатів на прикладі висококиплячих, токсичних компонентів ракетного палива, наведено хімічні реакції, що відбуваються у камері спалювання. Камера спалювання є складовою частиною агрегату, саме у ній у середовищі створюваних високих температур відбувається процес знищення небезпечних речовин. Враховуючи високу вартість агрегатів нейтралізації, що буде чинником, який перешкоджає впровадженню агрегатів для зниження техногенного навантаження на екологію України, пропонується варіант скорочення витрат при використанні агрегатів термічної нейтралізації шляхом об'єднання функції агрегату нейтралізації окисника й агрегату нейтралізації пального в єдиному, універсальному агрегаті. Обґрунтовано актуальність і необхідність робіт зі створення універсального агрегату термічної нейтралізації з точки зору економічних і екологічних аспектів. У статті загалом описано технологію і методику дослідницьких випробувань дослідних зразків вузлів подання пари і промстоков висококиплячих компонентів ракетного палива в агрегат нейтралізації. Вузлі подання пари і промстоков висококиплячих компонентів ракетного палива розглядаються, як найбільш критичні складові частини універсального агрегату нейтралізації з точки зору зміни речовини, що нейтралізується. Досліди проводилися на водних розчинах компонентів ракетного палива, які в даному випадку, імітували контакт внутрішніх порожнин вузлів подання з агресивними, токсичними середовищами. Були створені умови, при яких існувала вірогідність взаємодії залишків компонента ракетного палива в застійних зонах у момент зміни компонента палива. У рамках проведених дослідницьких випробувань дослідних зразків були розглянуті та проаналізовані отримані результати. Наведено висновки, що підтверджують практичну можливість застосування єдиних вузлів подання. **Ключові слова:** агрегат нейтралізації; вузли подавання; почергова подача; взаємодія компонентів ракетного палива; універсальний агрегат термічної нейтралізації

*Поступила (received) 28.08.19*