РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

при использовании атомной энергии



ОЦЕНКА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ СОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

РБ-125-17

gost.e-ecolog.ru

ФБУ «НТЦ ЯРБ»

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

УТВЕРЖДЕНО
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 17 марта 2017 г. № 89

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

«ОЦЕНКА ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ СОРБЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА»

(РБ-125-17)

Введено в действие
с 17 марта 2017 г.

Москва 2017

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка взрывопожароопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива» (РБ-125-17)

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Москва, 2017

Настоящее руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка взрывопожароопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива» (далее – Руководство по безопасности) (РБ-125-17) разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований пунктов 6.7.7.1 – 6.7.7.3 и 6.7.11 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла», утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 11 (зарегистрирован Минюстом России 1 февраля 2006 г., регистрационный № 7433).

Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по проведению оценки взрывопожароопасности систем, предназначенных для выполнения функций разделения/очистки технологических сред сорбционными методами на проектируемых, сооружаемых и эксплуатируемых объектах ядерного топливного цикла, осуществляющих переработку отработавшего ядерного топлива.

Выпускается впервые.[1]

[1] Разработано коллективом авторов в составе: Родина А.В., к.х.н., Понизова А.В., Анисимов Н.А. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), Обручникова А,В., к.х.н. (Ростехнадзор), Коссого А.А., к.т.н. (ФГУП РНЦ «Прикладная химия»).

При разработке учтены замечания и предложения ФГУП ПО «Маяк», АО «СХК», ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ИПХФ РАН, АО «АТОМПРОЕКТ» и других заинтересованных организаций и ведомств.

I. Общие положения

1. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка взрывопожароопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива» (далее – Руководство по безопасности) (РБ-125-17) разработано в соответствии со статьей 6 Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» в целях содействия соблюдению требований пунктов 6.7.7.1 – 6.7.7.3 и 6.7.11 федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла», утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 11 (зарегистрирован Минюстом России 1 февраля 2006 г., регистрационный № 7433).

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по проведению оценки взрывопожароопасности систем, предназначенных для выполнения функций разделения/очистки технологических сред сорбционными методами на проектируемых, сооружаемых и эксплуатируемых объектах ядерного топливного цикла (далее – ОЯТЦ), осуществляющих переработку отработавшего ядерного топлива.

3. Действие настоящего Руководства по безопасности распространяется на ОЯТЦ, на которых осуществляются технологические процессы с применением сорбционных методов разделения/очистки технологических сред при переработке отработавшего ядерного топлива.

4. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для применения эксплуатирующими организациями при проектировании, сооружении, эксплуатации ОЯТЦ, для которых предусмотрены технологические процессы с использованием сорбционных методов разделения/очистки технологических сред при переработке отработавшего ядерного топлива, а также специалистами Ростехнадзора при осуществлении ими лицензионной (разрешительной) деятельности или федерального государственного надзора в области использования атомной энергии.

5. Оценка взрывопожароопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива может быть выполнена с использованием иных методов, чем те, которые содержатся в настоящем Руководстве по безопасности, при обоснованности выбранных методов для обеспечения безопасности.

6. Результаты оценки взрывопожароопасности сорбционных систем рекомендуется включать в документы, обосновывающие обеспечение безопасности ОЯТЦ и представляемые эксплуатирующей организацией для получения лицензии на виды деятельности в области использования атомной энергии. Термины и определения, используемые в настоящем Руководстве по безопасности, приведены в приложении № 1.

II. Общие рекомендации

7. Оценку взрывопожароопасности сорбционных систем рекомендуется выполнять для:

оценки взрывопожароопасности ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

выявления наиболее значимых для предотвращения взрывопожароопасности сорбционных системы ОЯТЦ исходных событий, аварийных последовательностей, систем (элементов), действий персонала;

определения приоритетов при разработке и реализации мероприятий, направленных на обеспечение безопасности сорбционных систем ОЯТЦ;

оценки влияния мероприятий по модернизации систем (элементов) на безопасность ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

оценки влияния нарушений в работе ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

оптимизации проектных решений;

уточнения перечня аварий, разработки мер по управлению авариями, оценки эффективности мер по управлению авариями;

получения данных для разработки технических решений по управлению аварией;

обоснования пределов и условий безопасной эксплуатации ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

обоснования внесения изменений в проектную, конструкторскую, технологическую и эксплуатационную документацию.

8. Оценку взрывопожароопасности сорбционных систем рекомендуется проводить с учетом:

свойств потенциально опасных веществ и материалов, находящихся в сорбционных системах;

проектно-конструкторской и эксплуатационной документации по сорбционным системам;

актов испытаний и другой документации по техническому обслуживанию и ремонту систем (элементов) безопасности и элементов, важных для безопасности ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

информации об отказах элементов систем, важных для безопасности, и ошибках персонала на ОЯТЦ, включающих сорбционные системы;

сведений о расследовании нарушений и анализа отклонений в работе сорбционных систем;

сведений о нарушении пределов и условий безопасной эксплуатации.

9. Допущения, принятые при выполнении оценки взрывопожароопасности сорбционных систем ОЯТЦ, рекомендуется обосновывать.

III. Рекомендации по этапам оценки взрывопожароопасности сорбционных систем

10. Оценку взрывопожароопасности сорбционных систем, используемых при технологических операциях по переработке отработавшего ядерного топлива, рекомендуется проводить в следующей последовательности (схема проведения оценки приведена в приложении № 2 к настоящему Руководству по безопасности).

10.1. Выявление потенциально опасных веществ и материалов

Рекомендуется провести анализ технологических операций (например, сорбция, десорбция, промывка), осуществляемых в сорбционной системе с целью определения потенциально пожаровзрывоопасных веществ и материалов, которые образуются

или могут образоваться в условиях нормальной эксплуатации. Рекомендуется оценить состав, представляющий наибольшую опасность при проведении технологической операции.

Для этого следует рассмотреть вещества и материалы с максимальной концентрацией окислителя и восстановителя; с максимальным удельным тепловыделением вследствие радиоактивного распада; подвергающиеся максимальному радиационному воздействию; с минимальной теплопроводностью; другие вещества и материалы, представляющие опасность из-за возможности протекания неуправляемых реакций.

10.2. Оценка тепловых эффектов и объема газообразных продуктов неуправляемых реакций, способных протекать в сорбционной системе

При использовании методов расчета рекомендуется:

привести перечень неуправляемых реакций, способных протекать в потенциально пожаровзрывоопасных веществах и материалах выявленного состава, и составить для них химические уравнения. При отсутствии необходимых данных о продуктах реакций составить уравнения химических реакций, руководствуясь принципом максимального тепловыделения, при котором в качестве продуктов реакций задаются вещества с наименьшей суммой энтальпий образования;

рассчитать суммарный и удельный экзотермические эффекты неуправляемых реакций, суммарное количество газообразных продуктов по химическим уравнениям, известным термодинамическим данным, количественному содержанию веществ для степени протекания реакций (глубины превращения), равной 1 (100 %). При отсутствии необходимых термодинамических данных для расчета теплового эффекта неуправляемых реакций с целью их определения использовать экспериментальные методы, методы расчета, методы сравнительного анализа.

При использовании экспериментальных методов рекомендуется:

определить тепловой эффект и объем газообразных продуктов неуправляемых реакций для модельного или реального состава веществ, находящихся в сорбционной системе;

скорректировать полученные значения теплового эффекта и объема газообразных продуктов в случае необходимости учета вклада тепловых потерь и неполноты протекания неуправляемых реакций в условиях проведения эксперимента.

Значения теплового эффекта и объема газообразных продуктов неуправляемых реакций, принимаемые для проведения дальнейшей оценки, рекомендуется обосновать.

10.3. Оценка адиабатической (максимально возможной) температуры и объема газообразных веществ, находящихся в сорбционной системе, достигаемой в результате протекания неуправляемых реакций

На данном этапе проведения оценки взрывопожароопасности сорбционных систем ОЯТЦ рекомендуется:

рассчитать адиабатический разогрев веществ за счет протекания неуправляемых реакций;

рассчитать объем и возможное давление газообразных продуктов неуправляемых реакций, соответствующие адиабатической температуре для условий открытого и закрытого аппарата (сорбционной колонны);

оценить достигаемую за время проведения технологической операции концентрацию горючих газов в свободном объеме аппарата;

при отсутствии необходимых данных для проведения расчета с целью их определения возможно использование экспериментальных методов, методов сравнительного анализа;

перейти к проведению оценки по пункту 10.7, если для заданного состава рассчитанные значения адиабатической температуры, объема и давления (в случае возможной герметизации колонны) газообразных продуктов неуправляемых реакций, концентрация горючих газов меньше установленных для сорбционной системы пределов безопасной эксплуатации по соответствующим параметрам, если нет – перейти к проведению оценки по пункту 10.4.

10.4. Оценка адиабатического (минимально возможного) периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций

При по проведении оценки адиабатического (минимально возможного) периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций (рекомендации по проведению оценки приведены в приложении № 3 к настоящему Руководству по безопасности) рекомендуется:

создать кинетическую модель неуправляемых реакций и определить ее параметры, позволяющие рассчитывать изменение температуры и глубины превращения во времени; рекомендуется, чтобы полученная кинетическая модель отражала основные особенности протекания неуправляемых реакций, такие как:

каталитическое влияние примесей/конструкционных материалов/ионизирующего излучения;

автокатализ;

наличие радиогенного источника тепла;

определить зависимость периода индукции теплового взрыва от начальной температуры веществ по полученной кинетической модели;

рассчитать объем и возможное давление газообразных продуктов неуправляемых реакций, соответствующие достигаемым за время операции температуре и глубине превращения, для условий открытого и закрытого аппарата (сорбционной колонны);

оценить достигаемую за время проведения технологической операции концентрацию горючих газов в свободном объеме аппарата;

использовать экспериментальные методы, методы сравнительного анализа с целью определения отсутствующих данных, необходимых для проведения расчета;

перейти к проведению оценки по пункту 10.7, если полученное значение адиабатического периода индукции теплового взрыва для начальной температуры смеси, равной регламентной, больше времени осуществления технологической операции в сорбционной системе, а достигаемые за время осуществления операции такие параметры, как температура, объем и давление (в

случае возможной герметизации колонны) газообразных продуктов, концентрация горючих газов, меньше установленных для сорбционной системы пределов безопасной эксплуатации по соответствующим параметрам, если нет – перейти к проведению оценки по пункту 10.5.

10.5. Оценка критической температуры теплового взрыва от протекания неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду

При проведении оценки критической температуры теплового взрыва от протекания неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду (рекомендации по проведению приведены в приложении № 4 к настоящему Руководству по безопасности) рекомендуется:

рассчитать изменение температуры веществ в сорбционной системе в течение времени протекания неуправляемых реакций для данных условий тепловых потерь в окружающую среду при различных начальных температурах;

учесть вклад и значимость составляющих теплового баланса при проведении расчета: теплового эффекта неуправляемых реакций; тепловыделения в результате радиоактивного распада радионуклидов; эндотермических эффектов физических и химических процессов, сопровождающих протекание неуправляемых реакций; количества тепла, передающегося в объеме технологической среды в процессе протекания неуправляемых реакций; тепловых потерь в окружающую среду;

обосновать применимость принятых составляющих и значений параметров уравнения теплового баланса, начальных и граничных условий протекания неуправляемых реакций;

определить критическую температуру теплового взрыва по рассчитанным зависимостям;

рассчитать объем и возможное давление газообразных продуктов реакций, соответствующие достигаемым за время операции температуре и глубине превращения для условий открытого и закрытого аппарата (сорбционной колонны), если температура проведения технологической операции (стенки сорбционной колонны) ниже критической температуры теплового взрыва;

оценить достигаемую за время проведения технологической

операции концентрацию горючих газов в свободном объеме аппарата;

перейти к проведению оценки по пункту 10.7, если температура проведения технологической операции (стенки сорбционной колонны) ниже критической температуры теплового взрыва, а достигаемые за время осуществления операции такие параметры, как температура, объем и давление (в случае возможной герметизации колонны) газообразных продуктов, концентрация горючих газов, меньше установленных пределов безопасной эксплуатации для сорбционной системы по соответствующим параметрам, если нет – перейти к проведению оценки по пункту 10.6.

10.6. Оценка периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду

При проведении оценки периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду (рекомендации по проведению приведены в приложении № 5 к настоящему Руководству по безопасности) рекомендуется:

определить период индукции теплового взрыва по рассчитанной зависимости изменения температуры веществ в сорбционной колонне в течение времени протекания неуправляемых реакций для данных условий тепловых потерь в окружающую среду;

рассчитать объем и возможное давление газообразных продуктов неуправляемых реакций, соответствующие достигаемым за время операции температуре и глубине превращения для условий открытого и закрытого аппарата (сорбционной колонны);

оценить достигаемую за время проведения технологической операции концентрацию горючих газов в свободном объеме аппарата;

перейти к проведению оценки по пункту 10.7, если определенное значение периода индукции больше времени осуществления технологической операции в сорбционной системе, а достигаемые за время осуществления операции такие параметры, как температура, объем и давление (в случае возможной герметизации колонны) газообразных продуктов, концентрация горючих

газов, меньше установленных пределов безопасной эксплуатации для сорбционной системы по соответствующим параметрам, если нет – считать сорбционную систему взрывопожароопасной и принять меры по предотвращению ее взрывопожароопасности.

10.7. Оценка влияния отклонений параметров технологического процесса на взрывопожароопасность сорбционных систем

При проведении оценки влияния отклонений параметров технологического процесса на взрывопожароопасность сорбционных систем (рекомендации по проведению приведены в приложении № 6 к настоящему Руководству по безопасности) рекомендуется:

сформировать перечень возможных отклонений параметров технологического процесса на основании опыта эксплуатации сорбционной системы, в состав которой входит рассматриваемый технологический процесс, анализа отклонений для аналогичных технологических процессов, консервативных предположений по отказу систем (элементов);

обратить особое внимание на отклонения параметров системы от параметров нормальной эксплуатации, приводящие к образованию нерассмотренных потенциально опасных веществ и материалов; к таким отклонениям в том числе следует отнести: растворы с повышенной кислотностью; радиогенные источники тепла повышенной интенсивности; ошибки в последовательности и/или в составе исходных/дозируемых компонентов; частичное или полное осушение сорбентов;

рассмотреть влияние единичных и множественных отклонений параметров технологического процесса от параметров нормальной эксплуатации на безопасность сорбционной системы и составить перечень сценариев возникновения неуправляемых реакций, достижения концентрации горючих газов и других параметров процесса пределов безопасной эксплуатации, перечень принимаемых организационно-технических мер, предотвращающих реализацию аварийных сценариев.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Термины и определения

В целях настоящего Руководства по безопасности используются следующие термины и определения:

Сорбционная система – совокупность элементов, предназначенная для выполнения функции разделения/очистки технологических сред сорбционным методом.

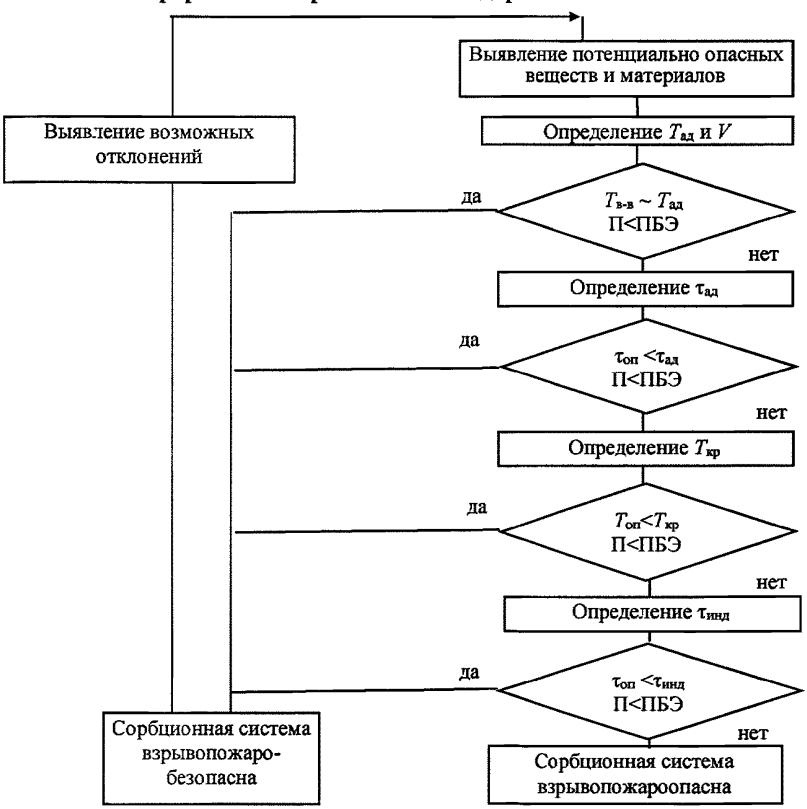
Критическая температура теплового взрыва $T_{кр}$ – температура окружающей среды, при которой для сорбционной колонны заданной формы и размеров при заданных условиях теплообмена с окружающей средой происходит переход от безвзрывного к взрывному режиму протекания экзотермической реакции (тепловому взрыву).

Период индукции адиабатического теплового взрыва $\tau_{ад}$ – промежуток времени с начала реакции, протекающей в технологической среде, находящейся в адиабатических условиях, до момента, когда скорость реакции достигает наибольшего значения.

Период индукции теплового взрыва $\tau_{инд}$ – промежуток времени с начала реакции в технологической среде до момента, когда скорость изменения максимальной температуры в сорбционной колонне достигает наибольшего значения.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Схема проведения оценки взрывопожароопасности сорбционных систем, используемых при технологических операциях по переработке отработавшего ядерного топлива



Примечание.

$T_{в\text{-}в}$ – температура веществ в сорбционной системе; $T_{ад}$ – адиабатическая температура веществ в сорбционной системе после протекания неуправляемых реакций; V – объем газообразных продуктов неуправляемых реакций; П – параметры процесса, достигаемые за время операции; ПБЭ – пределы безопасной эксплуатации; $\tau_{оп}$ – время осуществления операции; $\tau_{ад}$ – период индукции адиабатического теплового взрыва; $T_{оп}$ – температура окружающей среды (стенки колонны); $T_{кр}$ – критическая температура теплового взрыва; $\tau_{инд}$ – период индукции теплового взрыва.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Рекомендации
по проведению оценки адиабатического (минимально возможного) периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций

Исходные данные

Цель: оценить безопасность операции ожидания подачи раствора в сорбционную колонну, осуществляемой при температуре 70 °С в течение 6 часов.

Сорбционная колонна общим объемом 1 $м^3$ на 80 % заполонена сорбентом, содержащим нитратные группы.

Операция проводится при атмосферном давлении, обеспечен свободный отход газов со скоростью 0,01 $м^3\ с^{-1}$.

Для операции установлены следующие пределы безопасной эксплуатации – T = 80 °С и Р = 6 атм;

Теплоемкость сорбента ($C_{р,\ уд}$) равна 2 кДж $кг^{-1}$.

Плотность сорбента (ρ) равна 1000 кг $м^{-3}$.

Максимальный тепловой эффект разложения ($Q_{уд}$) равен 1500 кДж $кг^{-1}$.

Удельный объем газообразных продуктов ($V_{уд}$) равен 1 $м^3\ кг^{-1}$ (при нормальных условиях).

Скоростью выделения радиолитического водорода можно пренебречь.

Проведение оценки

На основе экспериментальных данных определено, что для указанного сорбента скорость тепловыделения (q, кДж $кг^{-1}\ с^{-1}$) описывается уравнением:

$$q = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}}(1-\alpha)Q_{уд} \quad , \qquad (1)$$

где:

k_0 – предэкспоненциальный множитель ($с^{-1}$);

$E_д$ – энергия активации (Дж моль$^{-1}$);
R – универсальная газовая постоянная (Дж моль$^{-1}$ К$^{-1}$);
T – температура веществ (К); α – глубина превращения;
при следующих параметрах уравнения:
$k_0 = 19{,}6 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; $E_д = 120 \cdot 10^3$ Дж моль$^{-1}$.

Изменение температуры веществ во времени можно рассчитать исходя из следующего уравнения:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{q}{c_{р.\ уд}}, \qquad (2)$$

где τ – время (с).

Численное решение данного уравнения при начальной температуре, равной T_0, представлено на рис. 1.

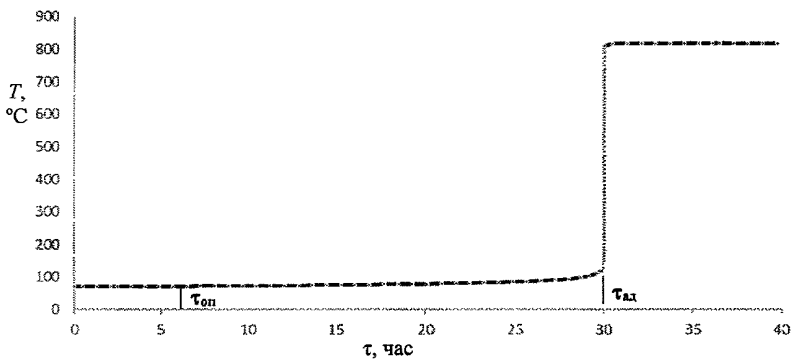


Рис. 1. Изменение температуры веществ во времени в адиабатических условиях

Определенный период индукции адиабатического теплового взрыва равен 30 часам. За время операции в 6 часов в адиабатических условиях достигается температура в 72 °С, глубина превращения составляет $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ (0,27 %), максимальная скорость изменения глубины превращения составляет $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ с$^{-1}$ ($1{,}3 \cdot 10^{-5}$ % с$^{-1}$). Это соответствует объему газов для всей загрузки 2,2 м^3 (при нормальных условиях), или 2,8 м^3 (при T = 72 °С) и $1{,}07 \cdot 10^{-4}$ м^3 с$^{-1}$ (при нормальных условиях), или $1{,}35 \cdot 10^{-4}$ м^3 с$^{-1}$ (при T = 72 °С) соответственно. Поскольку свободный объем колонны равен 0,2 м^3, возможное избыточное давление в случае герметизации колонны, оцененное по уравнению для идеальных газов, составляет 11 атм.

Выводы

Если герметизация колонны невозможна, данная сорбционная система в указанных условиях является взрывопожаробезопасной, поскольку время проведения процесса значительно меньше оцененного периода ин-

дукции адиабатического теплового взрыва и за время проведения процесса пределы безопасной эксплуатации для сорбционной системы не будут нарушены.

Если возможна герметизация колонны, вывод о безопасности сорбционной системы сделать нельзя, поскольку будет нарушен предел безопасной эксплуатации по давлению для данной сорбционной системы.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Рекомендации по проведению оценки критической температуры теплового взрыва от протекания неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду

Исходные данные

Цель: оценить безопасность операции ожидания подачи раствора в сорбционную колонну, осуществляемой при температуре 70 °С в течение 6 часов.

Сорбционная колонна внутренним диаметром 20 см заполнена сорбентом, содержащим нитратные группы и равномерно распределенный радиогенный источник тепла. Общий объем загрузки колонны составляет 0,06 $м^3$.

Теплоемкость сорбента ($C_{P,уд}$) равна 2 кДж $кг^{-1}$.

Плотность сорбента (ρ) равна 1000 кг $м^{-3}$.

Коэффициент теплопроводности технологической среды (λ) равен $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ кДж $м^{-1}$ $К^{-1}$ $с^{-1}$.

Максимальные тепловой эффект разложения ($Q_{уд}$) равен 1500 кДж $кг^{-1}$.

Скоростью выделения радиолитического водорода можно пренебречь.

Проведение оценки

На основе экспериментальных данных определено, что для указанного сорбента скорость тепловыделения (q, кДж $кг^{-1}$ $с^{-1}$) описывается уравнением:

$$q = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}}(1 - \alpha)Q_{уд} + q_{rad}, \quad (1)$$

где:

k_0 – предэкспоненциальный множитель ($с^{-1}$);

E_a – энергия активации (Дж $моль^{-1}$);

R – универсальная газовая постоянная (Дж $моль^{-1}$ $К^{-1}$);

T – температура веществ (К);

α – глубина превращения.

При следующих параметрах уравнения:

$k_0 = 19{,}6 \cdot 10^{10}$ с$^{-1}$; $E_a = 120 \cdot 10^3$ Дж моль$^{-1}$; $q_{rad} = 1 \cdot 10^{-2}$ кДж кг$^{-1}$ с$^{-1}$.

Изменение температуры веществ во времени можно рассчитать исходя из следующего уравнения:

$$\rho C_{P,\text{уд}} \frac{\partial T}{\partial \tau} = div\,(\lambda grad T) + \rho q\,. \qquad (2)$$

При изменении начальных условий по температуре сорбента и стенке колонны при неизменных остальных начальных и граничных условиях рассчитывается температура, при которой происходит переход от безвзрывного к взрывному режиму протекания экзотермической реакции. Результаты расчета максимальной температуры на центральной оси колонны приведены на рис. 1 для следующих граничных и начальных условий:

граничные условия на оси колонны (для цилиндрических координат):

$$\frac{\partial T}{\partial n_{r=0}} = 0 \qquad (3),$$

граничные условия на боковой поверхности:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n_{r=R_{кол}}} = \alpha\,(T_{ст} - T) \qquad (4),$$

граничные условия на торцах слоя сорбента:

$$\frac{\partial T}{\partial n_{z=0}} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial n_{z=Z}} = 0 \qquad (5),$$

начальные условия:

$$T_{\tau=0} = T_0 = 49 \text{ и } 50\ ^\circ\text{C}, \qquad (6)$$

где:

n – вектор нормали к поверхности в данной точке, м;

$R_{кол}$ – внутренний радиус колонны 0,07 м;

α – коэффициент теплоотдачи 0,5 кДж м$^{-2}$ К$^{-1}$ с$^{-1}$;

$T_{ст}$ – температура стенки колонны ($T_{ст}$=T_0), К;

Z_m – высота участка колонны, занятого сорбентом 1,9 м;

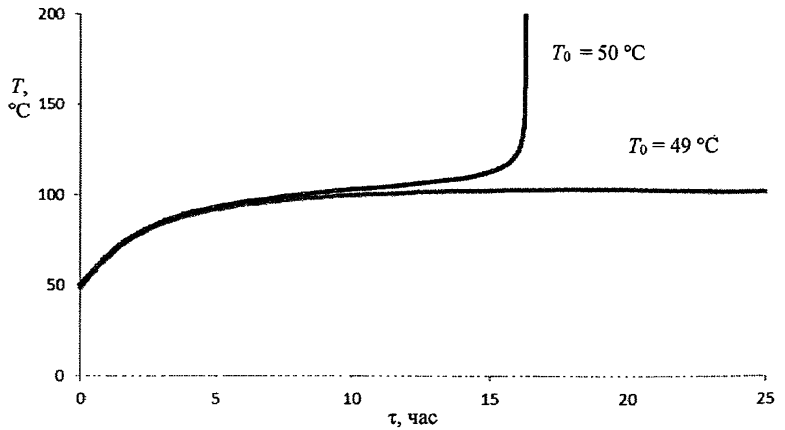


Рис. 1. Изменение максимальной температуры веществ во времени в колонне

Определенная критическая температура теплового взрыва ($T_{кр}$) равна 49 °С, что является ниже температуры проведения процесса.

Выводы

Вывод о безопасности сорбционной системы сделать нельзя, поскольку температура проведения процесса выше критической температуры теплового взрыва. Следует провести этап оценки периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 5
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Рекомендации по проведению оценки периода индукции теплового взрыва от протекания в сорбционной системе неуправляемых реакций в условиях тепловых потерь в окружающую среду

Исходные данные

Аналогичны исходным данным приложения № 4.

Проведение оценки

Численно решив уравнение (2) приложения № 4 с такими же граничными условиями, но с начальными условиями по температуре, равной температуре проведения процесса (T_0 = 70 °С), получается следующая зависимость максимальной температуры внутри колонны от времени (рис. 1).

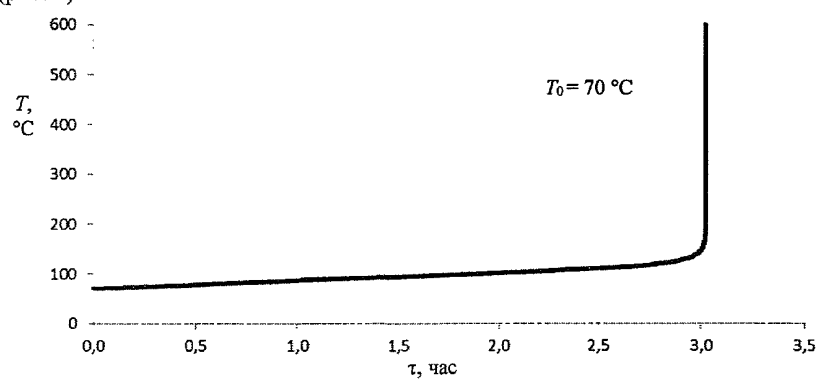


Рис. 1. Изменение максимальной температуры веществ во времени в колонне

Результаты расчета показывают, что период индукции теплового взрыва ($\tau_{инд}$ = 3 часа) меньше планируемого времени проведения процесса ($\tau_{оп}$ = 6 часов). Оцененный вклад дополнительных теплопотерь не приводит к ощутимому увеличению периода индукции теплового взрыва.

Выводы

Следует считать сорбционную систему взрывопожароопасной и принять меры по предотвращению ее взрывопожароопасности, поскольку полученное значение периода индукции меньше времени осуществления технологической операции в сорбционной системе.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 6
к руководству по безопасности
при использовании атомной энергии
«Оценка взрывопожароопасности
сорбционных систем при переработке
отработавшего ядерного топлива»,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от «17» марта 2017 г. № 89

Рекомендации по проведению оценки влияния отклонений параметров технологического процесса на взрывопожароопасность сорбционных систем

Исходные данные

Аналогичны исходным данным приложения № 3.

Цель: оценить отклонение температуры процесса на 5 °С в сторону увеличения.

Проведение оценки

Проведенный расчет по уравнению 2 приложения № 3 для начальной температуры процесса, равной 70+5 °С, дает следующие результаты (рис. 1).

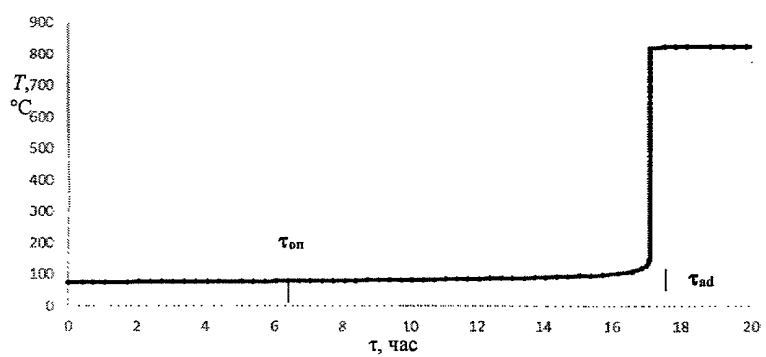


Рис. 1. Изменение температуры веществ во времени в адиабатических условиях

Определенный период индукции адиабатического теплового взрыва равен 17,1 часа. За время операции в 6 часов в адиабатических условиях достигается температура в 79 °С. Пределы безопасной эксплуатации нарушены не будут.

Выводы

Рассмотренный случай единичного отклонения параметра процесса не приводит к существенному снижению безопасности, пределы безопасной эксплуатации не нарушаются.

Руководство по безопасности при использовании атомной энергии

Оценка взрывопожароопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива

РБ-125-16

Официальное издание
Ответственный за выпуск Синицына Т.В.
Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ» в полном соответствии с приложением к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 марта 2017 г. № 89

Подписано в печать 20.05.2016

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ») является официальным издателем и распространителем нормативных актов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.06 № 384) а также официальным распространителем документов МАГАТЭ на территории России.
Тираж 100 экз.
Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ»
Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

РЕГИСТР РСТ ИСО 9001

Система менеджмента ISO 9001:2008 TÜVRheinland

Данный продукт изготовлен компанией, система менеджмента качества которой сертифицирована в TUV Rheinland

Система менеджмента качества ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2008 и межгосударственного стандарта ГОСТ ISO 9001-2011

gost.e-ecolog.ru