

УДК 665.644-027.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0020

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА**

© Автор(ы) 2022

SPIN: 2075-4704

AuthorID: 217872

ORCID: 0000-0001-7827-7294

БАРАХНИНА Вера Борисовна, кандидат технических наук, доцент*Уфимский государственный нефтяной технический университет**(450064, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: verarosental@rambler.ru)***ШУВАЕВА Валерия Романовна**, магистрант*Уфимский государственный нефтяной технический университет**(450064, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица Космонавтов, 1, e-mail: Shuvaeva-v@mail.ru)*

Аннотация. В данной статье были рассмотрены основные факторы и подфакторы, оказывающие наибольшее влияние на уровень промышленной безопасности установки каталитического крекинга. Методом экспертного опроса, в котором приняли участие 15 специалистов в области нефтепереработки и промышленной безопасности, были определены весовые значения факторов, характеризующие степень влияния того или иного фактора на уровень опасности установок каталитического крекинга. Весовое значение характеризует то, насколько сильно влияет тот или иной фактор на уровень опасности данного производственного объекта. После обработки экспертных оценок был разработан метод оценки уровня безопасности установок каталитического крекинга, учитывающий все нюансы технологического процесса, а именно: физико-химические свойства веществ, обращающихся на установке, технологические параметры процесса, состояние оборудования и применяемый катализатор. Анализ математической обработки результатов экспертного опроса позволяет предложить классификацию опасности установки каталитического крекинга по четырем рангам, которая позволяет количественно оценить степень опасности процесса. Каждый ранг характеризует степень жесткости рабочих условий и состояние оборудования. В дальнейшем на основании данной классификации возможна разработка мероприятий для повышения уровня промышленной безопасности на установках каталитического крекинга.

Ключевые слова: каталитический крекинг, промышленная безопасность, методика оценки уровня опасности, безаварийность, экспертный опрос.

**AN IMPROVED METHOD FOR ASSESSING THE INDUSTRIAL SAFETY OF A CATALYTIC
CRACKING UNIT**

© The Author(s) 2022

BARAKHNINA Vera Borisovna, associate professor**SHUVAEVA Valeriya Romanovna**, master student*Ufa State Petroleum Technological University**450064, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov Street, 1**e-mails: verarosental@rambler.ru, Shuvaeva-v@mail.ru)*

Abstract. In this article, the main factors and sub-factors that have the greatest impact on the level of industrial safety of a catalytic cracking unit were considered. Using the method of an expert survey, in which 15 specialists in the field of oil refining and industrial safety took part, weighted values of factors were determined that characterize the degree of influence of one or another factor on the hazard level of catalytic cracking units. The weight value characterizes how strongly this or that factor influences the level of danger of a given production facility. After processing expert assessments, a method was developed for assessing the safety level of catalytic cracking units, taking into account all the nuances of the technological process, namely: the physical and chemical properties of the substances circulating in the unit, the technological parameters of the process, the state of the equipment and the catalyst used. An analysis of the mathematical processing of the results of an expert survey allows us to propose a classification of the danger of a catalytic cracking unit in four ranks, which allows us to quantify the degree of danger of the process. Each rank characterizes the degree of severity of working conditions and the condition of the equipment. In the future, based on this classification, it is possible to develop measures to improve the level of industrial safety at catalytic cracking units.

Keywords: catalytic cracking, industrial safety, hazard assessment methodology, accident-free, expert survey.

Для цитирования: Барахнина В.Б. Усовершенствованный метод оценки промышленной безопасности установки каталитического крекинга / В.Б. Барахнина, В.Р. Шуваева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 2(58). – С. 113-118. – DOI: 10.46548/21vek-2022-1158-0020.

Введение. На сегодняшний день невозможно представить получение высокооктанового бензина и дизельного топлива без процесса каталитического крекинга. С каждым годом спрос на топливо возрастает, усиливаются требования к его качеству, технологический процесс каталитического крекинга непрерывно развивается и усложняется. Вдобавок, на данном производственном объекте в сырье и продуктах присутствуют опасные и вредные вещества, что позволяет отнести установку каталитического крекинга (УКК) к опасным производственным объектам. В соответствии с этим, для сохранения здоровых условий труда необходимо обеспечение промышленной безопасности при эксплуатации установок каталитического крекинга, так как при пренебрежении правилами безопасности и отклонении от регламентированного режима работы установки на УКК может произойти авария или несчастный случай.

Литературный обзор. В период с 2017 по 2021 г. на УКК произошло 6 аварий (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Вид и количество аварий на установках каталитического крекинга за период 2016-2021 г.

Год	Вид и количество аварий				Всего
	Взрыв	%	Пожар	%	
2016	0	0	1	100	1
2017	1	50	1	50	2
2018	0	0	1	100	1
2019	0	0	1	100	1
2020	0	0	1	100	1
2021	0	0	1	100	1

Анализ результатов расследования причин аварий позволяет сделать вывод о том, что чаще всего фактором возникновения аварий является нарушение технологического режима, применение не соответствующих требованиям нормативной документации технических устройств, брак конструктивных частей оборудования, его некачественный монтаж [2-5]. Также немалая часть аварий на объектах нефтеперерабатывающей отрасли происходит вследствие влияния человеческого фактора, а именно из-за безответственного нарушения правил техники безопасности и пожарной безопасности [6, 7].

Данные неутешительные показатели по аварийным ситуациям говорят о необходимости повышения уровня промышленной безопасности на УКК, так как помимо ущерба имуществу и оборудованию, взрывы и пожары на объектах причиняют значительный вред здоровью и жизни людей.

Для того, чтобы определить показатели, которые оказывают наибольшее влияние на степень безопасности УКК, были проанализированы технологические объекты установки и причины произошедших аварийных ситуаций. Таким образом, были выделены следующие ключевые факторы [8, 9]:

- физико-химические свойства веществ, обращающихся на УКК;
- технологические параметры протекания процесса;
- состояние оборудования.

Необходимо отметить, что на УКК отсутствует еди-

ный метод оценки уровня опасности. Это говорит о необходимости создания единого метода, учитывающего все особенности технологического процесса (качество сырья, технологические параметры (высокая температура и давление), применение катализатора и др.).

Катализатор играет особую роль в технологическом процессе каталитического крекинга. Помимо ускорителя реакций, он также является ключевым звеном в поддержании теплового баланса установки. В ходе цикла регенерации катализатора недостаточный выжиг кокса с его поверхности может спровоцировать резкий скачок температуры в реакторе. Это нарушение в технологическом процессе может привести к возникновению аварийной ситуации на установке [10, 11]. Именно поэтому при разработке метода оценки уровня безопасности УКК следует уделить особое внимание наличию в системе катализатора.

На опасных производственных объектах постоянно должен проводиться мониторинг состояния промышленной безопасности. Это позволит выявить факторы, оказывающие наибольшее негативное влияние на состояние защищенности объекта, и разработать мероприятия для предотвращения аварийных ситуаций.

Для наиболее точной оценки состояния промышленной безопасности объекта целесообразно применять такие методы, благодаря которым будет возможно получить количественные показатели. Для этого необходимо учитывать узконаправленную специализацию рассматриваемых предприятий [12, 13]. В конкретном случае, для оценки состояния промышленной безопасности на УКК следует применять показатели с учетом направления деятельности исследуемого объекта, а именно: физико-химические свойства веществ, обращающихся на УКК, технологические параметры протекания процесса, состояние оборудования и свойства катализатора [14, 15].

Методология. Объектом исследования в работе является уровень безопасности реакторно-регенераторного блока УКК. Для того, чтобы адекватно оценить степень безопасности УКК, необходимо определить весовое значение факторов, оказывающих наибольшее влияние на степень безопасности УКК [16]. Весовое значение характеризует то, насколько сильно влияет тот или иной фактор на уровень безопасности данного производственного объекта. Определить весовые значения предлагается методом экспертного опроса.

Целью экспертизы является получение числовых значений опасных и вредных факторов производства для дальнейшей разработки метода оценки уровня безопасности УКК.

Первостепенной задачей в организации экспертного опроса является определение структуры экспертной группы. На данном этапе необходимо определить, к какой сфере деятельности должны относиться эксперты, и каким уровнем квалификации они должны обладать.

Также необходимо решить вопрос о необходимом числе экспертов для проведения опроса. Здесь следует

учесть несколько факторов. Число экспертов не должно быть слишком малым, так как в этом случае результаты не будут отражать полную картину формирования экспертных оценок. Вдобавок, при малом числе экспертов будет слишком велико влияние каждого эксперта на общую оценку. При слишком большом количестве экспертов, напротив, оценка каждого эксперта практически не будет влиять на общую оценку.

Таким образом, для решения поставленной задачи была организована группа из 15 специалистов, а сам опрос проводился по следующему алгоритму:

1. Составление анкет, в которых был сформирован список ключевых показателей, оказывающих наибольшее влияние на степень опасности УКК. Весовое значение того или иного показателя специалистам предлагалось определить по шкале от 1 до 5.

2. Проведение расчета относительной значимости

показателей для каждого эксперта в отдельности.

3. Проведение расчета средней оценки каждого показателя, данной всеми экспертами в совокупности.

Сначала эксперты оценивали значимость фактора в целом для определения того, какой из них оказывает наибольшее влияние на безопасность процесса. Затем каждый фактор разбивался на подфакторы, и экспертам предлагалось оценить значимость каждого отдельного подфактора.

Задача экспертов заключалась в определении числового значения, которое характеризовало бы степень влияния того или иного фактора на уровень опасности УКК [17].

Результаты. Результаты опроса экспертов по каждому фактору представлены на рисунке 1.

После этого эксперты оценивали влияние каждого подфактора в отдельности (табл. 2).

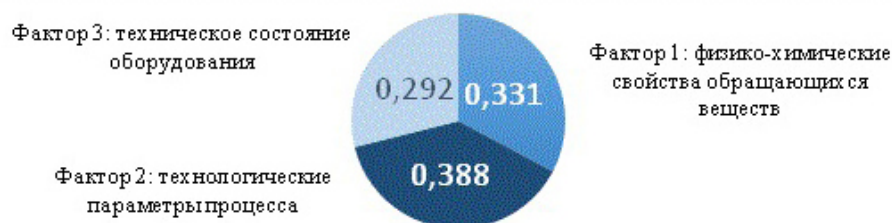


Рисунок 1 – Весовые значения факторов после обработки результатов опроса экспертов

Таблица 2 – Весовые значения подфакторов после обработки результатов опроса экспертов

Ключевой фактор	Весовое значение
1. Физико-химические свойства обращающихся веществ	
1.1 Содержание сернистых соединений в сырье	0,191
1.2 Вещества, обладающие взрывопожароопасными свойствами	0,335
1.3 Вещества, обладающие токсическими свойствами	0,190
1.4 Коксуемость сырья	0,284
2. Технологические параметры процесса	
2.1 Температура в реакторе/регенераторе	0,266
2.2 Давление в реакторе/регенераторе	0,227
2.3 Расход воздуха, подаваемого в регенератор на выжиг кокса с поверхности катализатора	0,252
2.4 Режим работы регенератора на дожиг кокса с поверхности катализатора (полный/неполный дожиг)	0,255
3. Техническое состояние оборудования	
3.1 Наличие агрессивных сред, вызывающих коррозионное повреждение оборудования в процессе его эксплуатации	0,299
3.2 Механический износ оборудования в ходе истирания его частицами катализатора	0,354
3.3 Наличие оборудования, конструкция которого выполнена без учета особенностей технологического процесса и физико-химических свойств веществ, обращающихся на установке	0,347

Полученные результаты наглядно отражают степень влияния каждого фактора и подфактора на уровень безопасности УКК с учетом особенностей работы установки.

На основании анализа результатов экспертного опроса делаем вывод о том, что фактор 2 (Технологические параметры процесса) оказывает наибольшее влияние на уровень безопасности в ходе эксплуатации УКК. Очевидно также значительное влияние подфакторов 2.3 (Расход воздуха, подаваемого в регенератор на выжиг кокса с поверхности катализатора) и 2.4 (Режим работы регенератора на дожиг кокса с поверхности катализатора). Это влияние подтверждает необходимость создания метода оценки уровня безопасности, который учитывал бы особенности технологического режима данной установки, а именно – применение катализатора.

На УКК при оценке уровня безопасности зачастую

сложно определить, какое влияние на данной стадии технологического процесса оказывает тот или иной фактор [18, 19].

Для определения числовых значений факторов предлагается использовать следующий метод.

Каждый ключевой фактор делится на подфакторы, затем предлагается оценить наличие или отсутствие рассматриваемого элемента в технологическом процессе. Чтобы оценить весовое значение фактора, предлагается из приведенного перечня выбрать те пункты, которые присутствуют на УКК и оказывают значительное влияние на безопасность технологического процесса.

Если на установке присутствует несколько пунктов, предлагается выбрать наиболее опасный (с наибольшим количеством баллов).

Факторы и подфакторы, подлежащие оценке, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Балльная оценка подфакторов

Ключевой фактор	Оценка подфактора, балл
1 Физико-химические свойства веществ, обращающихся на установке ($W = 0,805$)	
1.1 Содержание сернистых соединений в сырье:	
Более 1,22 % масс.	3
Менее 1,22 % масс.	1
1.2 Вещества, обладающие взрывопожароопасными свойствами:	
Сжиженные углеводородные газы	3
Легковоспламеняющиеся жидкости	1
Горючие жидкости	2
1.3 Вещества, обладающие токсическими свойствами. На УКК обращаются вещества:	
I класса опасности	4
II класса опасности	3
III класса опасности	2
IV класса опасности	1
1.4 Коксуемость сырья	
Более 5 % масс.	3
Менее 5 % масс.	1
2 Технологические параметры процесса ($W = 0,894$)	
2.1 Температура в реакторе/регенераторе:	
Более 500 °	4
От 200 до 500 °	3
Менее 200 °	2
2.2 Давление в реакторе/регенераторе:	
Более 0,07 МПа	3
Менее 0,07 МПа	1
2.3 Расход воздуха, подаваемого в регенератор на выжиг кокса с поверхности катализатора	
Концентрация кислорода в дымовых газах на уровне менее 1 % об	4
Концентрация кислорода в дымовых газах на уровне более 1 % об	2
2.4 Режим работы регенератора на дожиг кокса с поверхности катализатора	
Неполный дожиг	4
Полный дожиг	2
3 Техническое состояние оборудования ($W = 0,657$)	
3.1 Наличие оборудования, работающего в коррозионно-агрессивной среде	
Более 50 % оборудования	4
От 10 до 50 % оборудования	3
Менее 10 % оборудования	2
3.2 Наличие оборудования, подверженного абразивному износу в ходе истирания его частицами катализатора	
Более 50 % оборудования	4
От 10 до 50 % оборудования	3
Менее 10 % оборудования	2
3.3 Наличие оборудования, конструкция которого не соответствует особенностям технологического процесса	
Более 50 %	4
От 10 до 50 %	3
Менее 10 %	2

Итоговое числовое значение фактора (W) указано в скобках после названия фактора.

Рассмотрим определение итогового числового значения фактора 1 «Физико-химические свойства обращающихся веществ» и его подфакторы.

1.1 Содержание сернистых соединений в сырье.

Если на УКК содержание сернистых соединений в сырье превышает 1,22% масс., то к весовому значению подфактора добавляется 3 балла.

1.2 Вещества, обладающие взрывопожароопасными свойствами. Так как на УКК присутствуют и СУГ, и ГЖ, и ЛВЖ, то к весовому значению подфактора добавляется 3 балла.

1.3 Вещества, обладающие токсическими свойствами. Максимальный класс опасности веществ, присутствующих на установке, второй (моноэтанолмин и едкий натр). Следовательно, к весовому значению подфактора добавляется 3 балла.

1.4 Коксуемость сырья. Как правило, содержание кокса в вакуумном газойле колеблется в пределах 3-5 % масс. Следовательно, к весовому значению подфактора добавляется 1 балл.

Далее необходимо определить конечное числовое значение фактора 1. Для этого значения каждого подфакторов умножаются на соответствующую балль-

ную оценку, а затем суммируются.

$$W_1 = 0,331 \cdot (0,191 \cdot 3 + 0,335 \cdot 3 + 0,190 \cdot 3 + 0,284 \cdot 1) = 0,805.$$

Затем рассчитывается итоговая сумма всех факторов, по которой определяется уровень безопасности УКК.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 0,805 + 0,894 + 0,657 = 2,356.$$

Анализ математической обработки результатов экспертного опроса позволяет предложить следующую классификацию безопасности УКК по четырем рангам:

4 ранг – итоговая сумма 2,0 и более (жесткий режим работы установки, значительный износ оборудования);

3 ранг – итоговая сумма от 1,5 до 2,0 (мягкие условия работы установки, большой износ оборудования);

2 ранг – итоговая сумма от 1,0 до 1,5 (мягкие условия работы установки, незначительный износ оборудования);

1 ранг – итоговая сумма менее 1,0 (мягкие условия работы установки, износ оборудования отсутствует).

Обсуждение. В настоящее время существует несколько методов оценки состояния промышленной безопасности. Один из таких способов предполагает оценку ущерба, причиненного в результате произо-

шедших аварийных ситуаций и инцидентов [20, 21]. Недостатком данного метода является необходимость производить масштабные вычисления, а также затрудненности, связанные с определением показателей нанесенного ущерба.

Некоторые эксперты [22] утверждают, что результаты контролирующих и надзорных мероприятий могут быть использованы при оценке уровня промышленной опасности на производственном объекте. Это могут быть, например, количество проведенных проверок; число выявленных нарушений; скорость реагирования организации на выявленные нарушения; разработка и осуществление мероприятий для повышения промышленной безопасности на объекте; уровень профессиональной подготовки сотрудников предприятия и мероприятия в области повышения квалификации. Минусом данного метода можно считать субъективность оценки, которая также зависит от спектра осуществляемых мероприятий.

Существует также метод, основанный на качественном и количественном определении показателей, оказывающих влияние на уровень промышленной безопасности [23]. Широкое разнообразие факторов, в свою очередь, также зависит от многих параметров. Например, человеческий фактор работников определяется такими параметрами как: уровень профессиональной подготовки, психологическое состояние, состояние здоровья и т.д. Технологический процесс зависит от особенностей технологического режима, прописанных в технологическом регламенте установки. Техническое состояние производственного объекта напрямую зависит от качества оборудования и срока его эксплуатации.

Широко распространены методы оценки, связанные с влиянием наиболее вредных и опасных производственных факторов [24, 25]. Однако, подобные методы не учитывают ни состояние оборудования, ни опыт работников, занятых на производстве, ни нюансы технологического процесса.

Таким образом, каждый из рассмотренных методов оценки промышленной безопасности имеет свои преимущества и недостатки. Для реализации этих методов на практике необходимо учитывать специализацию исследуемого предприятия.

Разработанный метод учитывает все основные составляющие технологического процесса, а именно: физико-химические свойства обращающихся веществ на установках каталитического крекинга, технологические параметры протекания процесса, состояние оборудования и, что важно, особенности ведения процесса с использованием катализатора.

Представленная классификация УКК по рангам безопасности позволит разработать мероприятия, повышающие уровень промышленной безопасности на данном опасном производственном объекте.

Выводы. В процессе данного исследования были выделены факторы и подфакторы, оказывающие наибольшее влияние на уровень промышленной безопасности УКК. Методом экспертного опроса определены

количественные значения ключевых показателей, характеризующие степень влияния того или иного фактора на уровень безопасности УКК. В процессе работы был разработан метод оценки уровня безопасности УКК, учитывающий физико-химические свойства веществ, обращающихся на установке, технологические параметры процесса, состояние оборудования и применение катализатора. После анализа математической обработки результатов экспертного опроса была разработана классификация УКК, которая позволяет количественно оценить степень безопасности процесса.

Отличительной особенностью данного метода и классификации является то, что они учитывают сразу несколько факторов, оказывающих значительное влияние на уровень опасности установки каталитического крекинга, а именно:

- физико-химические свойства веществ, обращающихся на установке;
- технологические параметры процесса;
- состояние оборудования, эксплуатируемого на установке;
- особенности применения катализатора, являющегося неотъемлемой частью технологического процесса на УКК.

После обработки результатов экспертного опроса было установлено, что технологические параметры процесса и особенности работы, связанные с применением катализатора, оказывают наибольшее влияние на уровень безопасности во время эксплуатации УКК. Именно на эти факторы следует обратить особое внимание при разработке мероприятий по повышению уровня промышленной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Архив информационных бюллетеней Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору // Ростехнадзор. URL: <http://ib.safety.ru/> (Дата обращения: 10.03.2022).
2. Лебедева М.И., Богданов А.В., Колесников Ю.Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2013. – С. 8-17.
3. Булавка Ю.А., Смиловенко О.О., Сташевский Е.В. / Анализ инцидентов на нефтеперерабатывающем предприятии // Вестник Командно-инженерного института МЧС №2(16), – 2012. – С.69-76.
4. Краснов А.В., Садыкова З.Х., Пережогин Д.Ю., Мухин И.А. Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг. // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – 2017. – № 6. – С.17-23.
5. Конько О.А. Аварии и аварийные ситуации на промышленных предприятиях/ Учеб. пособие: самост. учеб. электрон. изд. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – 327 с.
6. Bai P. Fluid catalytic cracking technology: current status and recent discoveries on catalyst contamination / P. Bai, U. J. Etim, Z. Yan, S. Mintova, Z. Zhang, Z. Zhong, X. Gao // Catalysis Reviews-Science and Engineering. – 2019. – Vol. 61, № 3. – P. 333 - 405.
7. Bai P. Fluid catalytic cracking technology: current status and recent discoveries on catalyst contamination / P. Bai, U. J. Etim, Z. Yan, S. Mintova, Z. Zhang, Z. Zhong, X. Gao // Catalysis Reviews - Science and Engineering. – 2019. – Vol. 61, № 3. – P. 333 - 405.
8. Pinheiro C.I.C. Fluid catalytic cracking (FCC) process modeling, simulation, and control / C.I.C. Pinheiro, J.L. Fernandes,

L. Domingues, A.J.S. Chambel, I. Graça, N.M.C. Oliveira, H.S. Cerqueira, F.R. Ribeiro // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2012. – Vol. 51. – P. 1-29.

9. Radu S. Modelling and Simulation of an Industrial Fluid Catalytic Cracking Unit / S. Radu, D. Ciuparu // *Revista de Chimie*. – 2014. – Vol.65, № 1. – P. 113-119.

10. Солодова Н.Л. Современное состояние и тенденции развития каталитического крекинга нефтяного сырья / Н.Л. Солодова, Терентьева Н.А. // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 12 (часть 2). – С. 282-286.

11. Буйко К.В. Подходы к оценке уровня промышленной безопасности в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты / К.В. Буйко, Ю.В. Пантюхова // *Безопасность труда в промышленности*. – 2010 – №10. – С.42-46.

12. Lappas A.A. Feedstock and catalyst effects in fluid catalytic cracking -Comparative yields in bench scale and pilot plant reactors / A.A. Lappas, D.K. Iatridis, M.C. Papapetrou, E.P. Kopalidou, I.A. Vasalos // *Chemical Engineering Journal*. – 2015. – Vol. 278. – P. 140-149.

13. Henz H. Re-invent FCC / H. Henz // *Hydrocarbon Processing*. – 2004. – № 9. – P. 41 - 48.

14. New FCC catalyst // *Hydrocarbon Processing*. – 2006. – № 3. – P. 29 – 35.

15. Краснов А.В. Разработка методики определения расчетных величин пожарных рисков при взрывах сосудов под давлением: дис. канд. техн. наук. Уфа, – 2013. –134 с.

16. Хавкин В.А. Пути развития процесса каталитического крекинга / В.А. Хавкин, В.М. Капустин, И.М. Герзелиев // *Мир нефтепродуктов*. – 2016. – № 10. – С. 4-9.

17. Che Y. Fundamental study of hierarchical millisecond gas-phase catalytic cracking process for enhancing the production of light olefins from vacuum residue / Y. Che, M. Yuan, Y. Qiao, Q. Liu, J. Zhang, Y. Tian // *Fuel*. – 2019. – Vol. 237. – P. 1-9.

18. Vogt, E. T. C. Fluid catalytic cracking: recent developments on the grand old lady of zeolite catalysis / E. T. C. Vogt, B. M. Weckhuysen // *Chemical Society Reviews* – 2015. – № 44. – P. 7342-7370.

19. Ю.А. Булавка / Проблема выбора наиболее опасного аппарата для оценки взрывоопасности технологического блока на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки*. – 2016. – № 11. – С. 125-129.

20. Булавка Ю.А., Смиловенко О.О., Коваленко П.В., Сташечвич Е.В. / Апостериорная оценка состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки*. – 2012. – № 9. С.122-128.

21. Ершов Д.С. Современное состояние и тенденции развития процесса каталитического крекинга / Д.С. Ершов, А.Р. Хафизов, И.А. Мустафин, К.Е. Станкевич, А.В. Ганцев, Г.М. Сидоров // *Fundamentalresearch*. – 2017. – № 12. – С. 282-286.

22. Пантюхова Ю.В. Методика оценки уровня промышленной безопасности опасных производственных объектов систем газораспределения и газопотребления: дис. канд. техн. наук: 05.26.03. – Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, 2011 – 95 с.

23. Хасан М.А. Разработка обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазовой отрасли на примере установки стабилизации нефти: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2013. – 105 с.

24. Etim U.J. Vanadium and nickel deposition on FCC catalyst: Influence of residual catalyst acidity on catalytic products / U.J. Etim, P. Bai, X. Liu, F. Subhan, R. Ullah // *Microporous Mesoporous Mater*. – 2019. – Vol. 273. – P. 276-285.

25. Zhang J. Modeling fluid catalytic cracking risers with special pseudo-components / Z. Wang, H. Jiang, J. Chu, J. Zhou, S. Shao // *Chemical Engineering Science*. – 2013. – Vol. 102. – P. 87 - 98.

Статья поступила в редакцию 12.04.2022

Статья принята к публикации 20.06.2022