

9. Ryzhkov, S. S. Expert system of estimation for the environmental risk levels of hazardous facilities of a shipbuilding plant [Електронний ресурс] / S. S. Ryzhkov, I. V. Timchenko // Вісник НУК. — 2012. — № 2(14). — Режим доступу: \www/URL: <http://evn.nuos.edu.ua/article/download/22593/20214>
10. Саати, Т. Принятие решений — метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ «ЭКОПИРОГЕНЕЗИС»

В статье представлена структура автоматизированной системы управления экологическими рисками при утилизации отходов по технологии «Экопирогенезис». Предложено алгоритм функционирования системы управления экологическими рисками и методику многокритериальной оценки факторов экологической опасности при эксплуатации оборудования технологии термической утилизации органических отходов. Представлены результаты оценки факторов по уровню опасности на основе метода анализа иерархий согласно сформированных критериев.

Ключевые слова: экологические риски, факторы экологической опасности, пиролиз, аварии, анализ иерархий.

Маркіна Людмила Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра екологічної безпеки та охорони праці, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: markserg@ukr.net.

Тимченко Інна Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра екологічної безпеки та охорони праці, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв, Україна, e-mail: inna.tymchenko@nuos.edu.ua.

Маркина Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра экологической безопасности и охраны труда, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Тимченко Инна Викторовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра экологической безопасности и охраны труда, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

Markina Liudmyla, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: markserg@ukr.net.

Timchenko Inna, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine, e-mail: inna.tymchenko@nuos.edu.ua

УДК 665.64

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40592

Левчук И. Л.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА ПУТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР НА ВХОДАХ РЕАКТОРОВ

В работе исследовано влияние температуры реакционной смеси на входах реакторного блока каталитического риформинга на приращение ароматических углеводородов в реакционной смеси. Предложен новый способ и алгоритм управления процессом каталитического риформинга, путем оптимального распределения температур реакционной смеси на входах реакторного блока в зависимости от ароматизации сырья, чувствительности процесса по каналу управления температурой и требуемой жесткости ведения процесса.

Ключевые слова: каталитический риформинг, управление, оптимальное распределение температур, жесткость процесса.

1. Введение

Бензины являются одним из основных видов горючего для двигателей современной техники. Производство бензинов — важнейшая отрасль нефтеперерабатывающей промышленности Украины, в значительной мере влияющая на экономическое развитие нашей страны. Каталитический риформинг — важнейшая стадия получения высокооктанового компонента моторных топлив, а также индивидуальных ароматических углеводородов (бензола, толуола, ксилолов), используемых в нефтехимии и промышленного водорода.

Мировые тенденции изменения цен на нефтепродукты показывают, что исследования направленные на увеличение производительности, а следовательно и технико-экономических показателей процесса каталитического риформирования бензинов, в настоящее

время особенно актуальны. Совершенствование способа управления — один из очевидных вариантов увеличения производительности технологического процесса.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Проблеме автоматизации каталитического риформинга и разработке систем оптимального управления, базирующихся на математических моделях, посвящено достаточное количество исследований и публикаций, среди которых можно выделить работы таких ученых, как J. Crane [1], J. M. Smith [2], Ю. М. Жоров [3], С. А. Ахметов [4]. Авторы работ [3–6] сходятся во мнении, что производительность и технико-экономические показатели установки каталитического риформинга в значительной мере зависят от способа управления данным процессом.

Известно, что химические реакции, обеспечивающие протекание процесса каталитического риформинга имеют различные значения энергий активации [4]. Наибольшие для реакций гидрокрекинга (117...220 кДж/моль) и меньшие для реакций ароматизации (92...158 кДж/моль). При повышении температуры реакции гидрокрекинга ускоряются в большей степени, чем реакции ароматизации, что ведет к ускорению закоксовывания катализатора, без пропорционального приращения ароматических углеводородов в риформате. В литературе [4] рекомендуется поддерживать повышающийся температурный режим в каскаде реакторов, это позволяет уменьшить роль реакций гидрокрекинга в первых двух реакторах, повысить селективность процесса и увеличить выход риформата при заданном его качестве.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс каталитического риформинга бензинов в каскаде реакторов.

Целью данной работы является разработка способа управления процессом каталитического риформинга, путем оптимального распределения температур реакционной смеси на входах реакторного блока в зависимости от ароматизации сырья, чувствительности процесса по каналу управления температурой и требуемой жесткости ведения процесса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

1. Исследовать влияние температуры реакционной смеси на входах реакторного блока, на приращение ароматических углеводородов в реакционной смеси на выходах отдельных реакторов каталитического риформинга. По результатам исследования разработать метод определения оптимальных температур реакционной смеси на входах реакторного блока.

2. Осуществить постановку задачи оптимального управления процессом на основании технико-экономического анализа работы установки риформинга и предложить метод ее решения.

3. Разработать алгоритм расчета оптимальных режимов и способ управления процессом каталитического риформинга, путем оптимального распределения температур смеси на входах реакторов и с учетом требуемой жесткости ведения процесса.

4. Материалы и методы исследований процесса каталитического риформинга

В настоящее время не существует методов, позволяющих определить точное значение температуры реакционной смеси на входе каждого реактора каталитического риформинга, обеспечивающее оптимальный, с точки зрения ароматизации сырья баланс интенсивности реакций ароматизации и гидрокрекинга [5–7].

В первую очередь это связано с тем, что для разработки такой методики необходимо контролировать углеводородный состав риформата (содержание ароматических углеводородов) на выходе каждого реактора. Подобный анализ проводится в лабораторных условиях и занимает длительное время [8], что делает его непригодным для применения в современных автоматизированных системах управления процессом каталитического риформинга, реализующих режимы реального и квазиреального времени на различных уровнях системы.

Наличие уточненной математической модели процесса каталитического риформинга, представленной в [9, 10] позволяет с достаточной точностью определять углеводородный состав реакционной смеси на выходе каждого реактора расчетным путем.

5. Результаты исследований процесса каталитического риформинга

По математической модели было исследовано влияние температуры реакционной смеси на входе в каждый реактор на приращение ароматических углеводородов в риформате на выходе реакторов. Обобщенные результаты исследования представлены в виде графиков на рис. 1.

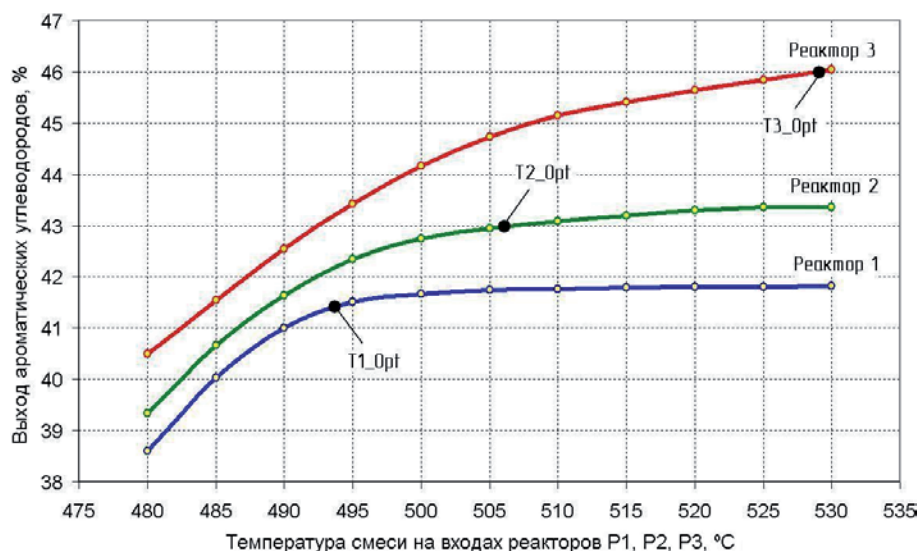


Рис. 1. Зависимость приращения ароматических углеводородов на выходе реакторов каталитического риформинга от температуры

Анализ полученных зависимостей позволил сделать следующие выводы. Для каждого реактора каталитического риформинга существует некоторое оптимальное (с точки зрения приращения ароматики) значение температуры исходной смеси (T_{Opt}), превышение которого не дает заметного увеличения ароматизации сырья, однако увеличивает скорость дезактивации катализатора из-за ускорения реакций гидрокрекинга, способствующих образованию кокса на его поверхности.

В теории и практике каталитического риформинга используется понятие «жесткость» для определения режима ведения процесса, обеспечивающего получение катализатора с определенным октановым числом, причем более высокому числу соответствует более жесткий режим каталитического риформинга. В зависимости от выбранного способа управления это достигается за

Таблица 1

Результаты обработки полученных графических зависимостей, приведенных на рис. 1

№ реактора	Максимальное приращение ароматических углеводородов в реакторе ΔY_{max} , %	Граничное приращение ароматических углеводородов в реакторе ΔY_a^c , %	Точка оптимума температур T_{Opt} , °C	Коэффициент жесткости процесса Kg
Реактор 1	3,28	0,25	493	0,85
Реактор 2	4,83	0,25	507	
Реактор 3	7,49	0,25	528	

счет повышения температурного режима в реакторах, либо путем изменения давления в реакторном блоке.

Очевидно, что в зависимости от выбранной жесткости ведения процесса, точка оптимума температур будет смещаться в сторону более низких или более высоких температур для каждого реактора, в зависимости от желаемой производительности установки каталитического риформинга и желаемой длительности межрегенерационного цикла катализатора. Следовательно, при определении оптимальной температуры смеси на входе каждого реактора необходимо учитывать текущую жесткость ведения процесса. При этом чувствительность процесса по каналу управления температурой смеси на входе отдельного реактора может использоваться для расчета по математической модели граничного приращения ароматических углеводородов на выходе реактора, достижение которого показывает, что дальнейшее увеличение температуры на входе реактора не является эффективным с точки зрения текущей жесткости ведения процесса.

Для решения поставленной задачи в работе использовался условный параметр названный «коэффициент жесткости процесса», который будучи введен в ограничения при решении задачи оптимального управления процессом, позволяет определить момент достижения оптимального значения температуры смеси на входе каждого реактора, с учетом желаемой жесткости ведения процесса.

$$Kg = (1 - \Delta Y_a^c), \tag{1}$$

где Kg — коэффициент жесткости процесса; ΔY_a^c — граничное приращение ароматических углеводородов на выходе реактора при изменении температуры смеси на входе на 1 °C.

Коэффициент Kg изменяется в диапазоне 0...1 и характеризует теоретическую максимальную жесткость ведения процесса при $Kg = 1$ и минимальную жесткость ведения процесса при $Kg = 0$. В процессе работы системы управления процессом каталитического риформинга, данный коэффициент выбирается и задается вручную оператором системы.

На рис. 1 точка оптимума температур смеси на входах реакторов отмечена в соответствии со значением коэффициента жесткости $Kg = 0,85$, что отражено в табл. 1.

Дальнейший анализ графических зависимостей представленных на рис. 1 с учетом полученной в формуле (1) зависимости показал, что при высокой жесткости ведения процесса ($Kg > 0,5$) точка оптимума температуры исходной смеси для третьего реактора каталитического риформинга всегда близка, а в ряде случаев и превышает технологическое ограничение установки по температуре реакционной смеси в 530 °C, установленное регламентом. Что объясняется наибольшим количеством катализатора в последнем реакторе реакторного блока. Это позволяет сделать вывод, что для достижения максимальной производительности установки каталитического риформинга, температуры смеси на входах первого и второго реакторов необходимо рассчитывать в соответствии с выбранным критерием оптимальности, а температуру смеси на входе последнего реактора поддерживать постоянной и максимально допустимой для выбранного типа установки риформинга.

На основании технико-экономического анализа функционирования установки каталитического риформинга Одесского НПЗ произведена постановка задачи оптимального управления процессом каталитического риформинга. Это задача максимизации выхода катализата при пяти ограничениях по температуре, кратности циркуляции, октановому числу, жесткости ведения процесса и нагрузке реакторного блока:

$$\lambda(T_n^i, G_{vh}) \rightarrow \max, \tag{2}$$

при ограничениях:

$$T_{min} < T_n^i < T_{max}, \quad i = 1, 3,$$

$$\eta_{hmin} < \eta_h < \eta_{hmax},$$

$$Ok = Ok_0,$$

$$Kg \leq Kg_0,$$

$$G_{0min} < G_0 < G_{0max}, \tag{3}$$

где $\lambda(T_n^i, G_{vh})$ — целевая функция выхода катализата, максимизируемая на множестве параметров оптимизации; T_n^i, T_{min}, T_{max} — вектор варьируемых входных температур ($i = 1...3$) и границы диапазона варьирования ($T_{min} = 480$ °C, $T_{max} = 530$ °C). Нижний предел определяется температурой зажигания катализатора, а верхний его тепловой стойкостью; η_{hmin}, η_{hmax} — текущее и предельные значения кратности циркуляции (соотношения водородосодержащий газ (ВСГ)/сырье); Ok, Ok_0 — текущее и заданное значение октанового числа; Kg, Kg_0 — текущее и заданное значение коэффициента жесткости процесса (1); G_0, G_{0min}, G_{0max} — нагрузка реакторного блока по объемному расходу гидрогенизата.

Так как целевая функция в некоторых точках имеет разрывы, вызванные сменой шага интегрирования при работе алгоритма Рунге-Кутты-Мерсона в математической модели [9, 10], для решения задачи оптимизации использовался метод Хука-Дживса. Разработанный обобщенный алгоритм расчета оптимальных режимов процесса по математической модели каталитического риформинга представлен на рис. 2.

На вход алгоритма оптимизации поступают следующие данные:

С технологического объекта: T_1, T_2, T_3 — температуры реакционной смеси на входах реакторного блока; G_{vh} — объемный расход ВСГ на входе реакторного блока.

Из математической модели: Y_{a1} , Y_{a2} , Y_{a3} — приращение ароматических углеводородов в реакционной смеси на выходах реакторов; λ — прогнозируемый по модели выход катализата; Ok — рассчитанное по модели октановое число риформата на выходе реакторного блока.

С АРМ оператора задается: Kg_0 — коэффициент жесткости ведения процесса; Ok_0 — ограничение по октановому числу.

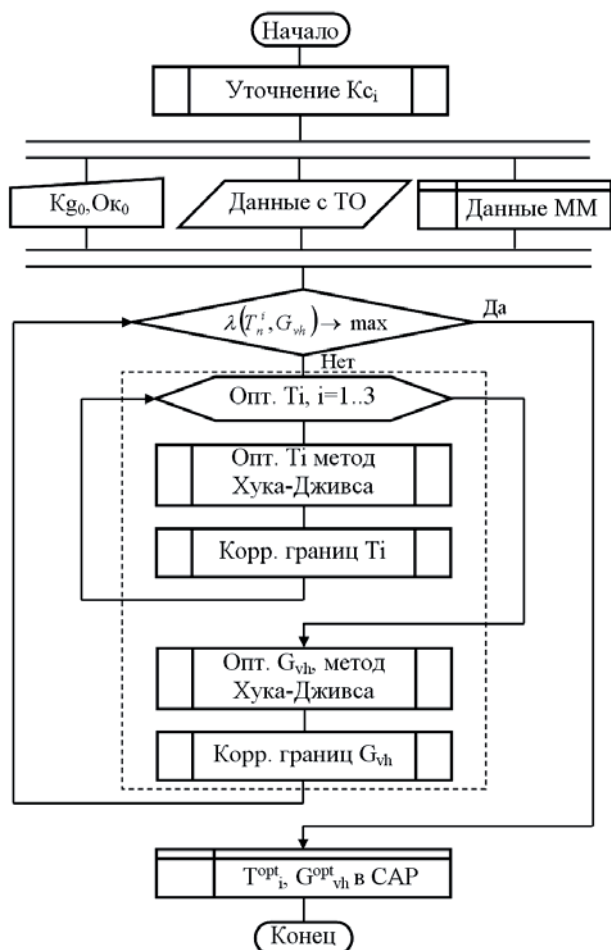


Рис. 2. Алгоритм расчета оптимальных режимов процесса каталитического риформинга

В качестве настроек на вход алгоритма оптимизации также передаются вектора, описывающие верхние и нижние границы оптимизируемых переменных.

Для минимизации ошибки расчета оптимальных режимов, перед вводом исходных данных алгоритм оптимизации инициирует уточнение настроечных коэффициентов Kc , учитывающих активность катализатора в математической модели. После чего циклически для каждого реактора начинает рассчитываться температура реакционной смеси на входе, обеспечивающая максимальное, с учетом принятых ограничений, приращение ароматических углеводородов на выходе реактора. Для этого используется метод Хука-Дживса, дополненный подпрограммой контроля границ варьируемых параметров.

После окончания цикла расчета оптимальных температур, высчитывается значение расхода ВСГ, обеспечивающее максимизацию выхода катализата с учетом заданного ограничения по октановому числу.

Рассчитанные оптимальные значения температур смеси на входах реакторов и расхода ВСГ передаются в подсистему автоматического регулирования САР, в качестве заданий реализованным там регуляторам.

6. Обсуждение результатов исследований процесса каталитического риформинга

Для подтверждения актуальности полученных результатов, методами имитационного моделирования по математической модели была выполнена экспериментальная апробация предложенного алгоритма расчета оптимальных режимов процесса, на основе опытных данных полученных с установки каталитического риформинга Одесского НПЗ. По результатам апробации установлено увеличение выхода катализата в среднем на 3–5 % для всех исследованных базовых режимов процесса.

Предложенный в работе метод определения оптимальных температур на входах реакторов, алгоритм расчета оптимальных режимов и способ управления на его основе могут использоваться в составе математического, алгоритмического и программного обеспечения АСУТП каталитического риформинга на отечественных НПЗ, для увеличения производительности данного процесса.

Представленные в работе материалы и результаты исследований актуальны для установок каталитического риформинга со стационарным слоем катализатора. Возможность использования этих материалов для установок с непрерывной регенерацией катализатора требует проведения дополнительных исследований.

7. Выводы

1. В результате проведенного исследования установлено, что граничное приращение ароматических углеводородов на выходе каждого реактора при фиксированном изменении температуры реакционной смеси на входе позволяет определить оптимальное, с точки зрения выбранной жесткости ведения процесса распределение температур на входах реакторного блока и таким образом увеличить производительность установки каталитического риформинга. Для определения оптимальных температур реакционной смеси на входах реакторов, обеспечивающих наилучшее соотношение интенсивности протекания реакций ароматизации и гидрокрекинга в реакторах, в работе предложено использовать условный параметр — коэффициент жесткости ведения процесса.

2. На основании технико-экономического анализа работы установки риформинга Одесского НПЗ выполнена постановка задачи оптимального управления процессом в виде функции выхода катализата при пяти ограничениях по температуре, кратности циркуляции, октановому числу, жесткости ведения процесса и нагрузке реакторного блока. Предложен способ решения задачи оптимизации на основе метода нелинейной оптимизации Хука-Дживса, дополненного процедурой контроля границ варьируемых параметров.

3. Разработан алгоритм расчета оптимальных режимов процесса и способ управления на его основе, обеспечивающий увеличение выхода целевого продукта — катализата в среднем на 3–5 %, что подтверждено результатами экспериментальной апробации.

Литература

1. Крейн, Дж. Труды IV Международного нефтяного конгресса [Текст] / Дж. Крейн. — М.: Гостоптехиздат, 1961. — 34 с.
2. Smith, J. M. Chemical engineering kinetics [Text] / J. M. Smith. — McGraw-Hill, 1981. — 676 p.
3. Жоров, Ю. М. Расчеты и исследования химических процессов нефтепереработки [Текст] / Ю. М. Жоров. — М.: Химия, 1973. — 213 с.
4. Ахметов, С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа [Текст]: учебное пособие / С. А. Ахметов и др.; под ред. С. А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.
5. UOP Platforming Process. Operations Handbook [Text]. — Illinois, USA: UOP. Des Planies, 1997. — 390 p.
6. Gumen, M. I. Increasing of the Efficiency of the Reforming LG-35-11/300 [Text] / M. I. Gumen et al. // Petroleum Processing and Petrochemistry. — 2001. — № 11. — P. 54–57.
7. Кузьмина, Р. И. Каталитический риформинг углеводородов [Текст]: справочник / под ред. проф. Р. И. Кузьминой. — Саратов: СУИ МВД России, 2010. — 252 с.
8. Perdih, A. Chemical Interpretation of Octane Number [Text] / A. Perdih, F. Perdih // Acta Chim. Slov. — 2006. — № 53. — P. 306–315.
9. Левчук, И. Л. Разработка математической модели процесса каталитического риформинга в каскаде реакторов [Текст] / И. Л. Левчук // Збірник наукових праць НГУ. — 2012. — № 39. — С. 122–127.
10. Левчук, И. Л. Разработка и идентификация уточненной математической модели процесса каталитического риформинга [Текст] / И. Л. Левчук // Науковий вісник НГУ. — 2013. — № 2. — С. 79–85.

УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ КАТАЛІТИЧНОГО РИФОРМІНГУ ШЛЯХОМ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР НА ВХОДАХ РЕАКТОРНОГО БЛОКУ

У роботі досліджено вплив температури реакційної суміші на входах реакторного блоку каталітичного риформінгу на прирощення ароматичних вуглеводнів в реакційній суміші. Запропоновано новий спосіб і алгоритм управління процесом каталітичного риформінгу, шляхом оптимального розподілу температур реакційної суміші на входах реакторного блоку в залежності від ароматизації сировини, чутливості процесу по каналу управління температурою і необхідної жорсткості ведення процесу.

Ключові слова: каталітичний риформінг, управління, оптимальний розподіл температур, жорсткість процесу.

Левчук Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент, кафедра компьютерно-интегрированных технологий и метрологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: lil@ukrpost.ua.

Левчук Ігор Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та метрології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.

Levchuk Igor, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: lil@ukrpost.ua

УДК 62 – 843.6 + 62-144.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.40616

**Пилипенко О. М.,
Рубан Д. П.,
Вірьовка Д. І.,
Голубов О. С.**

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОЗОНУВАННЯ НА ВМІСТ САЖІ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ

В даній статті розглянуто вплив озонування палива на процес згоряння нафтового дизельного пального та дизельного пального біологічного походження. Проведено теоретичне дослідження озонування дизельного палива. Наведено методику та результати розрахунку температури, вмісту сажі та швидкості її утворення в камері згоряння та у відпрацьованих газах дизеля.

Ключові слова: дизельне пальне, біодизель, МЕРО, сажа, сажовиділення.

1. Вступ

Збільшення об'єму випуску автомобілів з дизелями пов'язане зі створенням енергоекономічних двигунів, які відповідають вимогам щодо токсичності відпрацьованих газів (ВГ) та рівня шумності. Порівняння різних двигунів внутрішнього згоряння підтверджує перевагу двигуна з самоzapалюванням від стиску як за економічністю, так і за порівняно малою чутливістю до фізико-хімічних змін застосовуваного пального. Порівняно з бензиновим дизель має більшу загальну ефективність, більшу надійність та більш високі екологічні показники (нижча емісія токсичних компонентів у відпрацьованих газах) [1].

Поліпшення експлуатаційних показників дизелів неможливе лише шляхом вдосконалення систем впорскування пального, очистки та нейтралізації відпрацьованих газів. Тому виникає необхідність у вдосконаленні процесів

сумішоутворення та горіння пальної суміші. Перспективним методом впливу на процес горіння пального є активація пальної суміші шляхом його попереднього озонування.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Теоретичні та експериментальні дослідження впливу озону на вуглеводневе паливо, в тому числі дизельне були здійснювались як в Україні та країнах СНД [2, 3], так і в інших країнах [3, 4]. Дослідниками Ноженко Е. С. та Пілатовим А. Ю. здійснено ряд експериментальних досліджень, що мали на меті визначення фізико-кінетичних та експлуатаційних характеристик дизельного палива обробленого дозою озону.

Дослідження впливу озонування на показники димності відпрацьованих газів дизеля, що працює на пальному