

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/MEBG1583>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошкеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 50.47.29

<https://doi.org/10.48081/OSAI7240>**Д. К. Кайдагулов^{1,*}, Р. М. Несмеянова², С. Р. Масакбаева³**¹ТОО «Павлодарский нефтехимический завод»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

^{2,3}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар*e-mail: nesmeyanova.r@tou.edu.kz¹ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5323-8802>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5949-4023>³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8668-472X>

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ В ПЕЧАХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Стабильность горения топлива в печах при первичной перегонке нефти является основой эффективного, безопасного и отвечающего нормам экологии производства энергии. Данное исследование посвящено изучению сложной динамики устойчивости горения и подчеркивает возможности симуляторов на базе языка Python в анализе, оптимизации, изучении и управлении этим процессом. Важность таких подходов особенно актуальна при рассмотрении эффективности и безопасности операций с топливом в промышленных масштабах. Использование ПИД-регулятора в рамках технологических усовершенствований подчеркивает роль корректировки в реальном времени параметров расхода топлива и температуры. Благодаря тщательному итерационному подходу, охватывающему 10 000 циклов, в исследовании показана эффективность интегрированной системы в обеспечении оптимальной стабильности горения. Полученные результаты позволяют повысить энергоэффективность и укрепить меры безопасности, внося существенный вклад в

существующий массив знаний в области нефтехимической промышленности.

Эмпирические данные, визуализированные в виде динамических графиков, наглядно показывают возможности системы. Об адаптивности системы свидетельствует взаимосвязь динамики температуры и расхода топлива, обеспечивающая поддержание оптимальных параметров сгорания. Более того, согласованное взаимодействие компонентов ПИД-регулятора еще раз подтвердило потенциал системы как трансформационного решения задач первичной перегонки нефти.

Ключевые слова: трубчатые печи, устойчивость горения, ПИД-регуляторы, энергоэффективность, система обратной связи.

Введение

В нефтехимической отрасли, характеризующейся сложными процессами и неуклонным стремлением к эффективности, важную роль играет процесс первичной перегонки нефти, который является основой для многочисленных последующих операций. В этой сложной системе стабильность горения является основным фактором, определяющим не только эффективность процесса перегонки, но и общую безопасность всего производства.

Стабильность горения, по сути, представляет собой сложно организованный комплекс параметров: расход топлива, динамика температуры и эффективность горения. Эти параметры, при всей их кажущейся независимости, глубоко интегрированы друг в друга, причем возмущения одного из них часто каскадно отражаются на других. Именно эта взаимозависимость делает поиск стабильности одновременно сложным и необходимым. Настоящее исследование посвящено этой проблеме и направлено на то, чтобы проникнуть в глубину сложных процессов динамики горения, раскрыть существующие закономерности и, что еще важнее, предложить надежное технологическое решение.

Необходимость проведения данного исследования обусловлена двумя причинами. Во-первых, существует осязаемая потребность в исследовании принципов горения, изучении его динамики и выявлении факторов, влияющих на его стабильность или отсутствие таковой. Во-вторых, что,

пожалуй, более актуально, существует острая потребность в инструменте, механизме, который мог бы не только моделировать эту динамику в контролируемой среде, но и предлагать в реальном времени решения, обеспечивающие стабильность. Именно на этом стыке понимания и поиска решений и возникает наша модель на языке Python, обещающая как понимание, так и вмешательство.

Материалы и методы

Последние достижения в области анализа и управления процессами горения направлены в первую очередь на обеспечение эффективной, безопасной и экологичной работы. Исследователи применяют различные методы, начиная от оптических сканеров пламени, модельного прогнозирующего управления и заканчивая полуконтролируемыми моделями обучения. С течением времени технический прогресс привел к появлению инновационных методов и систем мониторинга и управления процессами горения [1].

Появление оптических сканеров пламени, особенно при запуске энергетических котлов, свидетельствует о трансформационном сдвиге в области контроля горения [2]. В работе [2] автор отметил ключевую роль сканеров пламени в системах контроля пламени (СКП), подчеркнув, что их механизм основан на обнаружении электромагнитного излучения, испускаемого пламенем. В качестве примера можно привести сканер PARAGON 105F1-1 компании FIREYE Inc. [2], который демонстрирует превосходные возможности анализа пламени в реальном времени.

Обеспечение безопасности при проведении процессов горения не подлежит обсуждению. О тонкостях этого процесса свидетельствует информация автора [3]. В систему умело интегрированы такие компоненты, как вентиляторы продувочного воздуха и регулирующие заслонки [3], что подчеркивает целостную конструкцию системы, обеспечивающую безопасность на различных этапах эксплуатации.

Область модельного прогнозирования прослеживает обширную технологию, развиваясь от основополагающих схем, таких как линейно-квадратичное гауссовское управление, до современных версий. В исследовании [4] подробно описаны проблемы, с которыми сталкивались ранние алгоритмы управления, такие как ограничения и нелинейность процесса. Автором подчеркиваются ограничения, но в то же время

акцентируется неизменная актуальность ПИД-регулирования (ПИД – пропорционально-интегрально-дифференциальный) в современном производственном секторе [4].

Авторами исследования [5] рассматривается процесс создания модели в контексте Model Predictive Control для управления процессами в переработке нефти. Исследование включает несколько этапов, обеспечивающих точность и эффективность управления. В основе MPC лежит динамическая модель процесса, которая позволяет предсказывать будущее состояние системы на основе текущих данных. В ходе полученных результатов, модель может показать: прогнозируемые отклики, оптимальные управляющие воздействия, влияние ограничений, управление рисками, что, в свою очередь, применимость данного подхода при первичной переработке нефти, обеспечивая повышение производительности, снижение затрат и улучшение качества продукции при одновременном соблюдении требований безопасности и экологических стандартов [5].

Объединение машинного обучения с анализом горения открыло новую эру точности прогнозирования. Следует отметить исследование [6], иллюстрирующее модель полуконтролируемого обучения с использованием визуализации пламени. Эта модель оригинально объединяет многослойный автокодировщик с понижающим коэффициентом усиления и генеративную состязательную сеть, а затем использует классификатор гауссовых процессов для точного прогнозирования состояния.

В условиях стремительного технического прогресса такие традиционные решения, как ПИД-регулирование, сохраняют свою значимость в промышленных процессах. В работе [7] вновь обращается внимание на неизменную полезность и эффективность ПИД-регуляторов. Автор также рассматривает такие проверенные временем методы определения параметров регуляторов, как метод Циглера-Николса и метод Коэна и Куна, подчеркивая их эмпирическую обоснованность и неизменную актуальность.

В работах [1–7] представлена широкая картина исследований в области анализа и контроля горения – от тонкостей работы сканеров пламени до сложности моделей машинного обучения. По мере развития

этой области она готова и дальше гармонично сочетать проверенные временем методы с авангардными инновациями, постоянно повышая стандарты эффективности, безопасности и точности.

Суть настоящего исследования заключается в методологическом подходе, тщательно разработанном с учетом сложной динамики устойчивости горения. Методология основана на интеграции системы датчиков обратной связи, специально разработанной для мониторинга, анализа и реагирования на переменные параметров горения в реальном времени, что позволяет обеспечить оптимальную стабильность процесса первичной перегонки нефти.

Суть программы заключена в моделировании работы печи с основной целью контроля ее температуры. Он использует механизм ПИД-регулирования для регулирования потока топлива и, таким образом, контроля температуры печи. Печь имеет клапан для регулировки подачи топлива, а на процесс ее сгорания влияют такие факторы, как расход топлива, качество топлива и внешняя динамика. Программа также моделирует меры безопасности, такие как механизмы охлаждения и защитные отключения.

Используются следующие формулы, определяющие выделение и потери тепла (1) – (4).

Количество тепла, выделяемое в результате сгорания (1).

$$Q_{\text{generation}} = F_{\text{rate}} \cdot H_{\text{fuel}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{generation}}$ – выделение тепла; F_{rate} – скорость потока топлива; H_{fuel} – теплота сгорания топлива.

Потери тепла в окружающую среду представлены изменением температуры с течением времени (2).

$$Q_{\text{loss}} = C_{\text{furnace}} \cdot \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

где Q_{loss} – потери тепла; C_{furnace} – теплоемкость печи; ΔT – изменение температуры; Δt – изменение во времени.

Скорость сгорания с учетом качества топлива составляет (3).

$$R_{\text{combustion}} = Q_{\text{fuel}} \cdot F_{\text{rate}} \quad (3)$$

где $R_{\text{combustion}}$ – скорость сгорания; Q_{fuel} – качество топлива.

В программе используется ПИД-регулятор (пропорционально–интегрально–производный) для поддержания желаемой температуры путем регулирования расхода топлива. Управляющее действие заключается в следующем (4):

$$U = K_p \cdot E + K_i \cdot \sum E + K_d \cdot \left(\frac{\Delta E}{\Delta t} \right) \quad (4)$$

где U – управляющее воздействие; K_p , K_i и K_d – пропорциональный, интегральный и производный коэффициенты усиления соответственно; E – разница между желаемой и фактической температурой; $\sum E$ – интеграл ошибки с течением времени; $\left(\frac{\Delta E}{\Delta t} \right)$ – скорость изменения ошибки.

Регулируемые параметры:

- желаемая температура (в программе рассматривается 1000 К);
- желаемый расход топлива (в программе рассматривается 1,5 кг/с).

Внешняя динамика:

- температура окружающей среды (рассматривается 300 К);
- коэффициент теплопотерь;
- теплоемкость печи.

Цель программы. Программа предназначена для моделирования работы печи в различных условиях и управления ее температурой с помощью ПИД-регулятора. Это позволяет пользователям:

- узнать, как различные факторы, такие как поток топлива, качество топлива и внешняя динамика, влияют на температуру печи;
- проверить и настроить работу ПИД-регулятора при регулировании температуры печи;
- наблюдать за работой механизмов безопасности и охлаждения, гарантируя, что печь работает в желаемых пределах;
- определять температуру и скорость потока топлива с течением времени с помощью графиков.

Программа обеспечивает фундаментальное понимание работы печи и механизмов управления, открывая путь для более сложного

моделирования, которое может учитывать больше переменных или различные методологии управления.

Основу нашей экспериментальной установки составляет интегрированная система обратной связи с датчиками. Эта система представляет собой совокупность современных оптических, акустических и температурных датчиков. Каждый датчик выполняет свою задачу: оптические датчики фиксируют визуальные нюансы пламени, акустические датчики определяют тонкие изменения в шуме горения, свидетельствующие о нестабильности, а температурные датчики в режиме реального времени передают данные о внутренней температуре печи. Эта триада датчиков непрерывно передает данные в систему обратной связи, оснащенную ПИД-регулятором. Контроллер обрабатывает данные и в режиме реального времени корректирует расход топлива, забор воздуха и конфигурацию горелки, обеспечивая стабильность горения даже при внешних возмущениях.

Основу эксперимента составляет печь, предназначенная для первичной перегонки нефти. Печь оснащена горелками, конфигурация которых может быть изменена в реальном времени на основании показаний датчиков. К печи прикреплены встроенные датчики, каждый из которых стратегически расположен таким образом, чтобы собирать данные с максимальной точностью. Система управления с обратной связью, представляющая собой сложную технологию, взаимодействует непосредственно с печью, регулируя параметры в зависимости от показаний датчиков. Для имитации реальных условий были получены образцы сырой нефти различного качества, что позволило всесторонне оценить адаптивность системы.

Началом эксперимента стал запуск печи с базовой конфигурацией горелки с использованием образца сырой нефти известного качества. Затем начинался процесс дистилляции. Для оценки эффективности системы обратной связи с датчиками вводились преднамеренные возмущения, имитирующие возможные возмущения в реальном мире. Эти возмущения варьировались от колебаний подачи топлива до резкого изменения количества поступающего воздуха. При возникновении этих возмущений проводился тщательный мониторинг выходных сигналов датчиков для оценки их способности к обнаружению. Одновременно включалась

система управления с обратной связью и оценивалась ее реакция на вносимые возмущения, чтобы убедиться в ее способности противостоять им и восстановить стабильное горение. Этот процесс повторялся для образцов нефти разного качества, что позволило получить целостную оценку устойчивости и адаптивности системы.

В основе данного исследования лежала гипотеза о том, что интегрированная система обратной связи с датчиками будет не только обнаруживать нестабильности процесса сгорания в реальном времени, но и эффективно противодействовать им. Предполагалось, что при обнаружении любой нестабильности система управления с обратной связью будет оперативно вносить необходимые коррективы для восстановления стабильного горения. Кроме того, учитывая вариации качества нефти, эксперимент был направлен на определение адаптивности системы, предполагая, что ее эффективность может меняться в зависимости от качества нефти.

Результаты и обсуждение

Актуализация теоретических основ исследования заключается в процессе его реализации – этапе, характеризующемся точностью, итерационными доработками и неуклонным стремлением к воспроизведению реальных условий. В данном разделе описывается путь от разработки концепции до ее реализации, дается представление о реальных шагах, предпринятых для воплощения в жизнь интегрированной сенсорной системы обратной связи.

Этап проектирования начался со всесторонней оценки наиболее совершенных датчиков, доступных на рынке. Учитывая большое количество переменных, участвующих в процессе горения, необходимо было выбрать датчики, обеспечивающие точность без ущерба для времени отклика. Выбранные оптические датчики были способны улавливать все тонкости пламени, различая даже мельчайшие колебания его структуры. Акустические датчики были оснащены функцией шумоподавления, обеспечивающей регистрацию только специфических звуков горения. Температурные датчики, предназначенные для работы в условиях высокой

интенсивности, обеспечивали получение подробных данных, позволяя контролировать состояние внутренней среды печи в режиме реального времени.

Этапы реализации включали оценку и интеграцию современных датчиков для точного мониторинга процессов горения, что, в сочетании со сложными ПИД-регуляторами и программированием на языке Python, позволило создать интегрированную систему обратной связи [8; 9]. Эта система не только обеспечивает реальное управление процессом в реальном времени, но и демонстрирует точность вмешательства.

После выбора эти датчики были интегрированы в единую систему обратной связи, управляемую сложным ПИД-регулятором. Контроллер, запрограммированный на языке Python, являлся основным элементом системы: он обрабатывал данные с датчиков, рассчитывал необходимые настройки и передавал команды на печь в режиме реального времени.

Выбранная печь, предназначенная для первичной перегонки нефти, подверглась точной калибровке, чтобы убедиться в том, что она правильно реагирует на команды системы обратной связи. Каждая горелка была протестирована отдельно и в паре с другими горелками, после чего были произведены настройки для обеспечения равномерности реакции. Затем были установлены встроенные датчики, обеспечивающие оптимальный сбор данных. После этого система обратной связи, подключенная по высокоскоростным кабелям, была синхронизирована с блоком управления печи, что ознаменовало завершение этапа наладки.

После создания установки была проведена экспериментальная работа. Каждая итерация начиналась с ввода пробы нефти и настройки горелок в соответствии с ее известными свойствами. Для обеспечения надежности полученных результатов эксперимент проводился на нескольких образцах сырой нефти, каждый из которых представлял собой индивидуальный случай. По мере начала процесса дистилляции вводились преднамеренные возмущения, имитирующие возможные нестабильности. Данные с датчиков в реальном времени непрерывно поступали в систему обратной связи. ПИД-регулятор, обрабатывая эти данные, вычислял необходимые корректировки – модулировал расход топлива, изменял забор воздуха или перенастраивал горелки. Каждый ответ регистрировался, что позволяло получить полный набор данных для последующего анализа.

Внедрение методик глубокого обучения для идентификации состояний горения и измерения скорости выделения тепла, показало высокую точность и скорость обработки данных, подчеркивая потенциал данной модели для решения сложных задач управления в реальных производственных условиях [10]. Были построены динамические графики (рисунок 1 и 2), демонстрирующие взаимосвязь между внутренней температурой печи, расходом топлива и вносимыми возмущениями. Такая визуализация позволила не только получить оперативную информацию о работе системы, но и послужила мощным инструментом для последующего анализа.



Рисунок 1 – График зависимости температуры от времени (количества итераций)

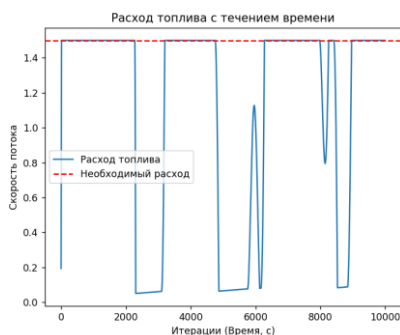


Рисунок 2 – График расхода топлива от времени (количества итераций)

В ходе реализации проекта был получен ряд графиков, каждый из которых дает уникальное представление о динамике процесса горения под воздействием интегрированной системы «датчик – обратная связь».

Подробно обсуждая представленные графики, выясним основные тенденции и их последствия. Первый график (рисунок 1) представляет собой визуальное отображение внутренней температуры печи на протяжении всех итераций. Кривая прослеживает траекторию движения температуры, показывая ее реакцию на вводимые возмущения и корректирующие действия системы обратной связи. Пики и впадины на графике соответствуют преднамеренным нестабильностям и последующему вмешательству системы. Цель такой визуализации – оценить эффективность системы обратной связи в поддержании стабильности температуры, особенно в условиях внешних возмущений. На втором графике (рисунок 2) показана динамика изменения расхода топлива во времени. Волнообразность кривой отражает непрерывную корректировку подачи топлива системой обратной связи в ответ на обнаруженные отклонения температуры. Этот график свидетельствует об адаптивности системы, демонстрируя ее способность динамически регулировать расход топлива для достижения требуемой стабильности горения.

Сложности, связанные с обеспечением стабильности горения при первичной перегонке нефти, представляют собой многосторонние проблемы, начиная от эксплуатационной неэффективности и заканчивая вопросами безопасности. В данном исследовании предпринята попытка решения этих проблем, центральным элементом которой является интегрированная система обратной связи с датчиками. Как показано в исследовании, эта система, дополненная ПИД-регулятором с точной настройкой, позволила выявить и устранить нестабильность процесса горения в реальном времени, независимо от качества сырой нефти и вносимых возмущений.

Эмпирические данные, визуализированные в виде динамических графиков, наглядно демонстрируют возможности системы. Свидетельством адаптивности системы является взаимосвязь между динамикой температуры и расходом топлива, обеспечивающая поддержание оптимальных параметров горения. Более того, согласованное

взаимодействие компонентов ПИД-регулятора еще больше подтвердило потенциал системы как преобразующего решения для задач первичной перегонки нефти.

Выводы

Проведенные исследования, основанные на применении интегрированной системы обратной связи с датчиками, позволили получить значительные результаты, касающиеся стабильности горения при первичной перегонке нефти. Полученные в ходе эксперимента данные в реальном времени, в частности, динамика температуры и расхода топлива, подтвердили способность системы оперативно обнаруживать и устранять возмущения горения. Особо следует отметить адаптивность системы, которая подстраивалась под различные качества нефти и устойчиво противостояла преднамеренным возмущениям.

При более глубоком изучении работы ПИД-регулятора стало очевидным гармоничное взаимодействие пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих. Данный алгоритм позволяет своевременно и пропорционально воздействовать на систему, обеспечивая оптимальную устойчивость горения. Более широкие последствия данного исследования позволяют говорить о возможности его применения в реальных процессах дистилляции, повышая эффективность работы и безопасность.

Таким образом, данное исследование не только раскрывает тонкости стабильности горения, но и открывает путь к развитию инновационных технологий в области первичной перегонки нефти. Интегрированная система датчиков и обратной связи, если ее потенциал будет использован в полной мере, способна произвести кардинальные изменения в отраслевых стандартах, объединив операционное совершенство с повышенными требованиями к безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Yelishala, S. C.** Effect of Carbon Dioxide on the Laminar Burning Speed of Propane–Air Mixtures [Text] / S. C. Yelishala, Z. Wang, H. Metghalchi, Y. A. Levendis, K. Kannaiyan, R. Sadr // *Journal of Energy Resources Technology*. – 2019. – Vol. 141. – P. 1–9.

2 **Nabaglo, D.** The use of optical flame scanners for combustion process analysis in OP-650 power boiler [Text] / D. Nabaglo, P. Podgorski, T. Janda, P. Sokolowski // Archivum Combustionis. – 2015. – Vol. 35. – №. 2. – P. 99–116.

3 **Smahi, A.** Upgrading Burner Management System (Implementation of Burner Flame Sensors) Case Study: Hot Oil Heater CPF Menzel Ledjmet East [Text] / A. Smahi // Academic Master Thesis in Electronic (Embedded System), Science and Technology. – 2022. – 139 p.

4 **Qin, S. J.** A survey of industrial model predictive control technology [Text] / S. J. Qin, T. A. Badgwell // Control Engineering Practice. – 2003. – №. 11. – P. 733–764.

5 **Elamurugan, P.** Analysis of Multivariable Controller for Fluid Catalytic Cracking Unit in a Petroleum Refinery [Text] / P. Elamurugan, K. Siva // Journal of Advances in Chemistry. – 2016. – Vol. 12. – № 18. – P. 5088–5095.

6 **Han, Z.** Prediction of combustion state through a semi-supervised learning model and flame imaging [Text] / Z. Han, J. Li, B. Zhang, Md. M. Hossain, C. Xu // Fuel, – 2021. – Vol. 289. – P. 1–5.

7 **Suryaprakash, C.** Fopid Implementation for Industrial Process [Text] / C. Suryaprakash J. M. Kishorelal, U. Gururagavan, S. Gokulan, A. B. Singh // International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering. – 2014. – Vol. 2. – № 4 – P. 1420–1424.

8 **Huth, M.** Fuel flexibility in gas turbine systems: impact on burner design and performance [Text] / M. Huth, A. Heilos // Modern Gas Turbine Systems. – 2013. – Vol. 14. – P. 635–684.

9 **Sun, D.** Quantitative Assessment of Flame Stability Through Image Processing and Spectral Analysis [Text] / D. Sun, G. Lu, H. Zhou, Y. Yan, S. Liu // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2015. – Vol. 64. – № 12. – P. 3323–3333.

10 **Wang, Z.** Deep Learning based Monitoring of Furnace Combustion State and Measurement of Heat Release Rate [Text] / Z. Wang, C. Song, T. Chen // Energy. – 2017. – Vol. 131. – P. 106–112.

Поступило в редакцию 29.03.24

Поступило с исправлениями 13.05.24

Принято в печать 05.09.24

Д. К. Кайдагулов¹, *Р. М. Несмеянова², С. Р. Масакбаева³

¹Павлодар мұнай-химия зауыты, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

^{2,3}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

29.03.24 ж. баспаға түсті.

13.05.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

МҰНАЙДЫ БІРІНШІЛІК АЙДАУ ПЕШТЕРІНДЕ ПИД-РЕТТЕГІШТЕРДІ ҚОЛДАНУМЕН ЖАНУ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ

Мұнайды біріншілік айдау кезінде пештерде отынның жану тұрақтылығы энергияны өндірудің тиімді, қауіпсіз және экология нормаларына сай болатын негізі болып табылады. Осы зерттеу жану тұрақтылығының күрделі динамикасын зерттеуге арналған және бұл процесті талдауда, оңтайландыруда, зерттеуде және басқаруда Python тілі базасындағы үдеткіштердің мүмкіншіліктеріне көңіл аударады. Мұндай тәсілдердің маңыздылығы өнеркәсіптік масштабтарда отынмен орындалатын операциялардың тиімділігі мен қауіпсіздігін қарастырғанда ерекше өзекті болады. ПИД-реттегішті технологиялық кемелдендіру шеңберінде қолдану отын мен температураның шығын параметрлерін нақты уақытта түзетудің ролін көрсетеді. 10 000 циклдан тұратын мұқият итеративті әдіс арқасында, зерттеуде тиімді жану тұрақтылығын қамтамасыз етуде интегралдау жүйесінің тиімділігі көрсетілген. Алынған нәтижелер, мұнайхимия өнеркәсібі саласындағы бар білім массивіне елеулі үлесін қосумен энергиялық тиімділікті көтеруге және қауіпсіздік шараларын нығайтуға мүмкіншілік береді.

Динамикалық графиктер түрінде көрнекіленген эмпирикалық деректер жүйенің мүмкіншіліктерін көрнекі көрсетеді. Жүйенің бейімділігі жсайлы, жанудың тиімді параметрлерінің сақталуын қамтамасыз ететін температураның динамикасы мен отынның шығыны арасындағы байланыс дәлелдейді. Сондай-ақ, ПИД-реттегіштің компоненттерінің келісімді әрекеттестігі жүйенің

потенциалының мұнайды біріншілік оңдеудің міндеттерін түрленімді шешетінін тағы бір рет дәлелдейді.

Кілтті сөздер: құбырлы пештері, жану тұрақтылығы, ПИД-реттегіштер, энергия тиімділігі, кері байланыстың жүйесі.

¹D. K. Kaidagulov, ^{2*}R. M. Nesmeyanova, ²S. R. Massakbayeva

¹Pavlodar Oil Chemistry Refinery LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar c.

²Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 29.03.24

Received in revised form 13.05.24

Accepted for publication 05.09.24

ANALYSIS AND OPTIMISATION OF COMBUSTION STABILITY IN PRIMARY DISTILLATION FURNACES USING PID CONTROLLERS

The stability of fuel combustion in primary distillation furnaces is the basis for efficient, safe and environmentally friendly energy production. This research explores the complex dynamics of combustion stability and highlights the potential of Python-based simulators in analysing, optimising, learning and controlling this process. The importance of such approaches is particularly relevant when considering the efficiency and safety of fuel operations on an industrial scale. The use of PID control within process improvements emphasises the role of real-time adjustment of fuel flow and temperature parameters. Through a rigorous iterative approach covering 10,000 cycles, the study demonstrates the effectiveness of the integrated system in providing optimal combustion stability. The results improve energy efficiency and safety measures, making a significant contribution to the existing body of knowledge in the petrochemical industry.

Empirical data visualised as dynamic plots clearly show the capabilities of the system. The adaptability of the system is evidenced by the coupling of temperature and fuel flow dynamics, which ensures that the optimal combustion parameters are maintained. Moreover, the coordinated interaction of the PID controller components once again

confirmed the potential of the system as a transformational solution to the problems of primary oil distillation.

Keywords: tube furnaces, combustion stability, PID controllers, energy efficiency, feedback system.

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz