

УДК 62-83

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/47>

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ УСТАНОВОК ПЕРЕРАБОТКИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ В ПРОЦЕССАХ ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ

©Шуганов Р. И., Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, pamil-84@mail.ru.

©Нуриева Э. Н., SPIN-код: 3105-8507, канд. пед. наук, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, nurieva-nk@yandex.ru

©Сagdеева Г. С., SPIN-код: 2953-4605, канд. пед. наук, Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Нижнекамск, Россия, sagdeeva_g@mail.ru

OPTIMIZATION OF OPERATION OF HEAVY OIL RESIDUE PROCESSING UNITS IN DELAYED COKING PROCESSES

©Shigapov R., Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, pamil-84@mail.ru.

©Nurieva E., SPIN-code: 3105-8507, Ph.D., Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, nurieva-nk@yandex.ru

©Sagdeeva G., SPIN-code: 2953-4605, Ph.D., Kazan National Research Technological University, Nizhnekamsk, Russia, sagdeeva_g@mail.ru

Аннотация. Процесс замедленного коксования является наиболее рентабельной и перспективной технологией по переработке нефтяных остатков и получил наибольшее распространение. Нефтеперерабатывающие заводы, в составе которых есть УЗК, можно отнести к заводам с безотходной технологией переработки нефти. В состав УЗК входят секции коксования, фракционирования, блок печей, блок выгрузки кокса, блок разделения газа и нефти, узел улавливания вредных выбросов, узел очистки воды, отделенной от нефтяного кокса, система внутри установочной обработки кокса, система компремирования и подачи жирного газа и прочие вспомогательные системы. Секция коксования состоит из печи и 4-х параллельно работающих реакторов для обеспечения непрерывности процесса. Основными направлениями для оптимизации процесса замедленного коксования можно считать: изменения состава сырья; усовершенствование коксовых камер установки замедленного коксования; усовершенствование фракционирующей колонны установки замедленного коксования; модернизация печей — наиболее ресурсоемкого элемента установки, замедленного коксования. Керамопокрытие печей — нанесение высоко излучающих керамических покрытий на змеевики и футеровку печей является эффективным энергосберегающим мероприятием. Это позволит существенно поднять КПД печей за счет увеличения тепловой нагрузки радиантной секции печи, и как следствие, снизить потребление топлива.

Abstract. The delayed coking process is the most cost-effective and promising technology for processing oil residues and has become most widespread. Oil refineries that include ultrasonic treatment plants can be classified as plants with waste-free oil refining technology. The UZK includes coking and fractionation sections, a furnace block, a coke unloading block, a gas and naphtha separation block, a unit for collecting harmful emissions, a unit for purifying water separated from petroleum coke, a system inside the coke processing unit, a system for compressing

and supplying wet gas and others auxiliary systems. The coking section consists of a furnace and 4 reactors operating in parallel to ensure process continuity. The main directions for optimizing the delayed coking process can be considered: changes in the composition of raw materials; improvement of coke chambers of the delayed coking unit; improvement of the fractionating column of the delayed coking unit; modernization of furnaces - the most resource-intensive element of the installation, delayed coking. Ceramic Coating of Furnaces – Applying highly emissive ceramic coatings to furnace coils and linings is an effective energy-saving measure. Allowing to significantly increase the efficiency of furnaces by increasing the thermal load of the radiant section of the furnace, and as a result, reduce fuel consumption.

Ключевые слова: установка замедленного коксования, оптимизация, технологическая печь, высокоизлучающее керамическое покрытие.

Keywords: delayed coking unit, optimization, process furnace, high-emissive ceramic coating.

В промышленности на сегодняшний день существуют различные виды процесса коксования, основными являются следующие: периодическое коксование, полунепрерывный процесс замедленного коксования, непрерывные процессы контактного коксования. Полунепрерывное (замедленное) коксование. При данном способе нагретое до высоких температур (470 - 510 °С) сырье подаётся в большие коксовые камеры, где протекают реакции термического крекинга с образованием кокса и газообразных продуктов. Пары продуктов коксования непрерывно подаются во фракционирующую колонну на разделение, а кокс периодически выгружается из камеры. В зависимости от сырья, на выходе с установки получают до 60 % дистиллятных фракций (нафта, легкий и тяжелый газойли) и различные виды кокса, такие как топливный, анодный, игольчатый. Особенностью данного способа коксования является возможность получения различных продуктов, в том числе и дефицитного малозольного низкосернистого кокса, за счет изменения технологических параметров и состава сырья. Из-за указанных достоинств процесс замедленного коксования является наиболее рентабельной и перспективной технологией по переработке нефтяных остатков и получил наибольшее распространение [1, 2].

Нефтеперерабатывающие заводы, в составе которых есть УЗК, можно отнести к заводам с безотходной технологией переработки нефти [3, 4].

В состав УЗК входят секции коксования, фракционирования, блок печей, блок выгрузки кокса, блок разделения газа и нефти, узел улавливания вредных выбросов, узел очистки воды, отделенной от нефтяного кокса, система внутри установочной обработки кокса, система компремирования и подачи жирного газа и прочие вспомогательные системы. Секция коксования состоит из печи и 4 параллельно работающих реакторов для обеспечения непрерывности процесса. В рассматриваемом процессе название «замедленное» связано с особыми условиями работы реакционных змеевиков трубчатых печей и реакторов (камер) коксования. Сырье, предварительно нагретое в печи до высокой температуры (470-510°С), затем подается в необогреваемые, изолированные снаружи коксовые камеры, где коксование происходит за счет тепла, приходящего с сырьем. Основные направления для оптимизации процесса замедленного коксования можно считать:

- изменения состава сырья. Существует возможность регулирования выхода и показателей качества готовых продуктов процесса замедленного коксования за счет изменения состава сырья, использование не только гудрона как основного сырья, но

применение тяжелых остатков термодеструктивных и термокаталитических процессов, а также побочных продуктов масляного производств в разном соотношении смеси;

- усовершенствование коксовых камер установки замедленного коксования. Для обеспечения стабильной и надежной работы реактора установки замедленного коксования и снижение риска создания аварийных ситуаций на установке;

- усовершенствование фракционирующей колонны установки замедленного коксования. Основным направлением в этой области считается снижение энергоемкости процесса замедленного коксования;

- модернизация печей — наиболее ресурсоемкого элемента установки, замедленного коксования. Современные печи нефтепереработки проектируются таким образом, что основная тепловая нагрузка приходится на лучистый теплообмен в камере радиации печи. Соотношение по тепловой нагрузке между камерами радиации и конвекции — это 80% к 20% соответственно. Поэтому, с точки зрения энергопотребления и энергоэффективности работы всего аппарата камере радиации уделяется повышенное внимание.

Внедрение новых технологических решений, способных повысить эффективность производства, — обязательно для каждого производственного процесса. В частности, большое внимание уделялось модернизации печей — наиболее ресурсоемкого элемента на многих установках. На примере установки замедленного коксования АО «ТАНЕКО» были смонтированы новые змеевики большего диаметра. Что позволило снизить нагрузку на оборудование. После монтажа на всех змеевиках нанесено высокоизлучающее керамическое покрытие. По словам специалистов управления повышения производственной эффективности, керамическое покрытие надежно защищает трубы змеевиков от высокотемпературной коррозии, возникающей под действием оксида ванадия и других продуктов горения. А благодаря специальным добавкам керамический состав повышает «степень черноты» металла, то есть его способность принимать лучистую энергию факела. В итоге трубопроводы начинают работать эффективнее и значительно дольше.

Керамопокрытие печей – нанесение высоко излучающих керамических покрытий (ВИК) на змеевики и футеровку печей является эффективным энергосберегающим мероприятием. Позволяющим существенно поднять КПД печей за счет увеличения тепловой нагрузки радиантной секции печи, и как следствие, снизить потребление топлива. Высокоизлучающие керамические покрытия переназначены для увеличения черноты поверхности футеровки и поверхностей нагрева в камерах радиации нагревательных аппаратов. Высокоизлучающие керамические покрытия наносились на футеровку различных типов, в том числе из: шамотного кирпича, жаропрочного бетона и мягкого керамического волокна. Оценка фактически полученного эффекта производилась при использовании на печах в качестве топлива: жидкого топлива, «жирных» внутризаводских газов, топливных смесей с природным газом и внутризаводскими водородсодержащими газами. Практически все работы сопровождалась оценкой полученного эффекта ПОСЛЕ нанесения покрытий, выраженного в сокращении удельного потребления условного топлива, в сравнении с периодами ДО нанесения ВИК покрытий.

Таким образом, путем нанесения высоко излучающих керамических покрытий на поверхности внутри камеры радиации можно достигнуть увеличения эффективности передачи лучевой энергии за счет стабильной черноты камеры.

Анализ патентной активности

Патентную проработку проводим по теме «оптимизация установки замедленного коксования» с целью поиска технических решений, доступных на сайте патентного ведомства РФ — <http://www.fips.ru>. Все сведения представлены в Таблице.

<i>№ патента, Дата публикации</i>	<i>Цель изобретения</i>	<i>Способ достижения</i>
RU 2 458 098 С1 Способ замедленного коксования нефтяных остатков	Упрощение технологии процесса	Изобретение обеспечивает одновременное получение на установке двух видов тяжелых газойлей, а также позволяет регулировать выход и качество полученных газойлевых фракций для их дальнейшей гидрокаталитической переработки и увеличить межремонтный пробег установки.
RU 2 548 415 С1 Ректификационная колонна для установки замедленного коксования	Снижение энергоемкости процесса замедленного коксования.	Поставленная задача достигается тем, что в ректификационной колонне для установки замедленного коксования, включающей укрепляющую часть с ректификационными тарелками и отгонную часть, в которой размещены струйная промывочная камера и наклонная перегородка с карманом, оснащенный штуцером, расположенная между штуцерами ввода исходного сырья коксования и ввода паров из камеры коксования, согласно изобретению, между струйной промывочной камерой и наклонной перегородкой с карманом установлена промежуточная перегородка, снабженная патрубками с отбойными пластинами и карманом для отвода загрязненного после промывки тяжелого газойля, а над вышеупомянутой перегородкой размещена насадка, при этом штуцер, связанный с карманом наклонной перегородки, предназначен для отвода сверхтяжелого газойля коксования. энергоемкость процесса коксования
RU 2 210 585 С2 Состав сырья для переработки на установках замедленного коксования	Повышение глубины переработки нефти.	Состав сырья содержит тяжелую пиролизную смолу (2-20 мас.%), тяжелый газойль каталитического крекинга (2-20 мас.%) и гудрон - остальное. Технический результат: увеличение выхода целевых продуктов (светлых нефтепродуктов, нефтяного кокса и газообразных продуктов) при переработке нефтяных остатков и, как следствие, повышение глубины переработки нефти и улучшение качества светлых нефтепродуктов по показателям "массовая доля серы" и "октановое число" бензина
RU 2 562 999 С1 Способ замедленного коксования нефтяных остатков	Снижение энергозатрат на нагрев вторичного сырья	Предлагаемая совокупность признаков изобретения обеспечит получение газойля коксования с низкой коксуемостью, при этом весь образующийся кубовый остаток полностью вовлекается в процесс коксования с сохранением оптимального его режима. Подача кубового остатка с низа ректификационной колонны на смешивание с первичным сырьем до нагрева в теплообменниках позволит снизить вязкость первичного сырья, что способствует улучшению теплопередачи в теплообменниках, и как следствие, возможности нагрева первичного сырья до более высокой температуры. Это, в свою очередь, снизит перепад температур на входе и выходе реакционно-нагревательной печи и, следовательно, обеспечит снижение энергозатрат на нагрев вторичного сырья.
RU 2 744 637 С1 Способ замедленного коксования нефтяных остатков	Снизить энергозатраты, расширить сырьевые ресурсы, используемые в	Способ замедленного коксования нефтяных остатков, включающий предварительный нагрев исходного сырья, смешение его с разбавителем и вторичный нагрев смеси до температуры коксования, отличающийся тем, что предварительный нагрев исходного сырья осуществляют в блоке теплообменников, после нагрева исходного сырья до

<i>№ патента, Дата публикации</i>	<i>Цель изобретения</i>	<i>Способ достижения</i>
	процессе коксования, а также увеличить межремонтный период установки замедленного коксования нефтяных остатков	температуры 195-250°C в поток сырья добавляют 1-5% углеводов с плотностью 800-950 кг/м ³ из закрытой системы продувки на исходное сырье, на выходе из блока теплообменников поток смеси смешивают с разбавителем в количестве 2-20% на исходное сырье, в качестве которого применяют газойль зоны промывки, далее нагретую до температуры 280-330°C смесь направляют в нижнюю часть ректификационной колонны, из ректификационной колонны смесь направляют в печь для вторичного нагрева до температуры 485-500°C, осуществляют регулирование температуры в печи и контроль температуры смеси на выходе из печи, далее нагретую смесь подают в реактор, при этом пары от реактора, охлажденные до температуры 400-420°C путем подачи квенча, направляют в зону ректификационной колонны, находящуюся выше зоны подачи исходной смеси, а в качестве нефтяных остатков применяют гудрон или смесь гудрона с вакуум-отогнанным остатком висбрекинга.
RU 2 560 441 С1 Способ замедленного коксования нефтяных остатков	Повышение качества нефтяного кокса и увеличение межремонтного пробега установки.	Способ замедленного коксования нефтяных остатков, включающий приготовление сырья коксования путем смешения исходного сырья с тяжелым газойлем каталитического крекинга с последующим первичным нагревом полученного сырья до 280-320°C и последующее обогащение сырьевой смеси внизу ректификационной колонны рециркулятом тяжелого газойля коксования, вторичный нагрев полученной сырьевой смеси до температуры коксования и коксование в реакторе с выводом дистиллятных продуктов коксования в ректификационную колонну, отличающийся тем, что в полученную сырьевую смесь после ректификационной колонны вводят не менее 10% легкого газойля коксования на исходное сырье, при этом количество рециркулята тяжелого газойля коксования внизу ректификационной колонны составляет не менее 40%.
RU 2 495 088 С1 Способ переработки нефтяных остатков и нефтешлама процессом замедленного коксования	Переработка нефтяных остатков и нефтешлама.	Предлагаемый способ направлен на увеличение межремонтного пробега установки замедленного коксования при одновременной переработке нефтяных остатков и нефтешлама за счет снижения закоксовывания змеевиков печи.
RU 2 650 925 С2 Способ замедленного коксования с использованием реактора предварительного крекинга	Повышение общего выхода требуемых продуктов и снижение общего выхода малоценного кокса	Способ включает нагревание углеводородного сырья в печи для получения горячего крекинг-сырья; введение горячего крекинг-сырья в реактор предварительного крекинга, в котором сырье подвергается реакциям мягкого термического крекинга для получения выходящего продукционного потока; передачу выходящего продукционного потока либо непосредственно в основную ректификационную колонну для получения тяжелой кубовой фракции, либо в промежуточный сепаратор для расщепления выходящего продукционного потока на верхнюю фракцию и кубовый продукт и подачу верхней

<i>№ патента, Дата публикации</i>	<i>Цель изобретения</i>	<i>Способ достижения</i>
		фракции в основную ректификационную колонну; нагревание тяжелой кубовой фракции или кубового продукта в печи для получения потока горячих углеводородов; подачу потока горячих углеводородов в предварительно нагретые коксовые барабаны, где поток подвергается реакциям термического крекинга для получения продукционных паров; и передачу продукционных паров в основную ректификационную колонну для получения требуемых продукционных фракций.
RU 2 531 184 C1 Реактор установки замедленного коксования	Повышение надежности работы реактора замедленного коксования.	Технический результат заключается в дополнительном упрочнении корпуса реактора без увеличения толщины стенки корпуса. Указанный технический результат достигается тем, что в реакторе установки замедленного коксования, включающем корпус с верхним и нижним днищами, кольцевую опору с шириной пластины 10-30% от диаметра реактора, установленную на фундаменте, опорные и укрепляющие элементы, согласно изобретению на боковых стенках корпуса реактора размещены полые кольцевые ребра жесткости, выполненные заодно со стенками корпуса и снабженные изнутри закрепляющими элементами в виде пластин, имеющих форму, идентичную поперечному сечению полого кольцевого ребра жесткости, и прикрепленных по краям ребер перпендикулярно к его поверхности, при этом закрепляющие элементы установлены равномерно по внутреннему периметру ребра жесткости.
RU 2 515 323 C2 Способ замедленного коксования нефтяных остатков	Уменьшение содержания легкокипящих (выкипающих до 350°C) фракций в тяжелом газойле коксования с одновременным увеличением выхода легкого газойля коксования.	Способ замедленного коксования нефтяных остатков, включающий нагрев исходного сырья, смешивание его в испарителе с тяжелым газойлем в качестве рециркулята с образованием вторичного сырья, нагрев вторичного сырья в реакционно-нагревательной печи с последующим его коксованием в камере коксования с получением кокса и дистиллятных продуктов, разделение в ректификационной колонне легких фракций, полученных в испарителе, в смеси с дистиллятными продуктами коксования на газ, бензин, легкий и тяжелый газойли коксования и кубовый остаток, пропарку кокса в камере коксования водяным паром и охлаждение водой, подачу продуктов пропарки и охлаждения в абсорбер с массообменными устройствами, служащий для абсорбции нефтепродуктов из продуктов пропарки и охлаждения кокса и разделения продуктов пропарки и охлаждения на паровую и жидкую фазы, при этом ректификационная колонна снабжена стриппингами для отпаривания водяным паром легкокипящих фракций из легкого и тяжелого газойлей, тяжелый газойль из ректификационной колонны направляют в среднюю часть стриппинга, на верхнюю тарелку стриппинга подают в качестве орошения охлажденный тяжелый газойль, часть тяжелого газойля коксования подают в качестве кулинга на смешивание с продуктами пропарки и охлаждения перед подачей последних в абсорбер, часть его подают в абсорбер

№ патента, Дата публикации	Цель изобретения	Способ достижения
		в качестве орошения, в нижнюю часть стриппинга подают водяной пар, в стриппинге поддерживают низкое давление (до 1 атм), пары из стриппинга направляют в абсорбер.
RU 2628067 С2 Способ получения дистиллятного топлива и анодного кокса из остатков вакуумной перегонки	Получение анодного кокса	Способ модернизации включает: приведение в контакт углеводородного кубового остатка и водорода с катализатором гидроконверсии в реакторной системе гидроконверсии кубового остатка; извлечение стока из реакторной системы гидроконверсии кубового остатка; отделение стока из реакторной системы гидроконверсии кубового остатка для извлечения двух или более углеводородных фракций.
RU 2 776 525 С1 Применение керамического покрытия solcoat для увеличения теплового потока, проходящего через элементы конструкций, подверженных неравномерному по поверхности нагреву внешним источником	Задача настоящего решения является устранение недостатков решений из уровня техники, а также реализация нового способа применения покрытия Solcoat.	Поставленный технический результат достигается за счет применения керамического покрытия Solcoat для увеличения теплового потока, проходящего через стальных конструкций, подверженных неравномерному по поверхности нагреву внешним источником, с одновременной их защитой от агрессивной среды, в диапазоне рабочих температур не выше 560°C, обладающего как поперечной, так и продольной теплопроводностью.

Из патентной проработки видно, что авторы научных работ проявляют большой интерес к изучению различных способов оптимизации процесса замедленного коксования, и данные работы внедряются в производство, получая положительный эффект.

Вывод

Внедрение новых технологических решений, способных повысить эффективность производства, — обязательно для каждого производственного процесса. Так и модернизация технологических печей установки замедленного коксования - наиболее ресурсоемкого элемента, является неотъемлемой частью оптимизации установки.

Решение, описанное в патенте RU 2776525С1 нанесение высоко излучающих керамических покрытий на поверхности внутри камеры радиации, приведет к увеличению эффективности передачи лучевой энергии за счет стабильной черноты камеры.

Список литературы

1. Шакирзянова Г. И. и др. Замедленное коксование как эффективная технология углубления переработки нефти // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. №14. С. 75-78.
2. Халикова Д. А., Петров С. М., Башкирцева Н. Ю. Обзор перспективных технологий переработки тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №3. С. 217-221.
3. Бикбулатова А. М. Этапы становления и развития отечественного производства нефтяного кокса методом замедленного коксования: На примере Ново-Уфимского НПЗ: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Уфа, 2002. 23 с.

4. Кузора И. Е. Эффективность процесса замедленного коксования при многовариантных режимах работы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ангарск, 2007. 24 с.

References:

1. Shakirzyanova, G. I., Sladovskaya, O. Yu., Sladovskii, A. G., Zimnyakova, A. S., & Nigmatzyanov, N. S. (2017). Zamedlennoe koksovanie kak effektivnaya tekhnologiya uglubleniya pererabotki nefiti. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 20(14), 75-78. (in Russian).

2. Khalikova, D. A., Petrov, S. M., & Bashkirtseva, N. Yu. (2013). Obzor perspektivnykh tekhnologii pererabotki tyazhelykh vysokovyazkikh neftei i prirodnykh bitumov. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 16(3), 217-221. (in Russian).

3. Bikbulatova, A. M. (2002). Etapy stanovleniya i razvitiya otechestvennogo proizvodstva neftyanogo koksa metodom zamedlennogo koksovaniya: Na primere Novo-Ufimskogo NPZ: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa. (in Russian).

3. Bikbulatova, A. M. (2002). Etapy stanovleniya i razvitiya otechestvennogo proizvodstva neftyanogo koksa metodom zamedlennogo koksovaniya: Na primere Novo-Ufimskogo NPZ: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Ufa. (in Russian).

4. Kuzora, I. E. (2007). Effektivnost' protsesssa zamedlennogo koksovaniya pri mnogovariantnykh rezhimakh raboty: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Angarsk. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 06.05.2024 г.*

*Принята к публикации
11.05.2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Шигапов Р. И., Нуриева Э. Н., Сагдеева Г. С. Оптимизация работы установок переработки тяжелых нефтяных остатков в процессах замедленного коксования // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №6. С. 446-453. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/47>

Cite as (APA):

Shigapov, R., Nurieva, E., & Sagdeeva, G. (2024). Optimization of Operation of Heavy Oil Residue Processing Units in Delayed Coking Processes. *Bulletin of Science and Practice*, 10(6), 446-453. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/103/47>