

УДК 665.642.4

**СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ПЕЧНЫХ ТРУБ УСТАНОВОК
ЗАМЕДЛЕННОГО КОКСОВАНИЯ ОТ КОКСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**
**METHODS OF CLEANING OF CHIMNEYS OF INSTALLATION FOR
RETARDED COKING FROM COKE**

Мухамадеев Д.Х., Валявин Г.Г., Запорин В.П.,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация

D.K. Mukhamadeev, G.G.Valjavin, V.P. Zaporin,
FSBEI NPE «Ufa State Petroleum Technological University»,
Ufa, the Russian Federation
e-mail: mukhamadeyev86@mail.ru

Аннотация. Печи являются “сердцем” установок замедленного коксования. В них происходит процесс нагрева и частичного крекирования сырья, поступающего в коксовые реакторы.

В процессе работы змеевик печи закоксовывается, что приводит к сокращению межремонтного цикла работы печи и установки в целом.

Существуют различные способы очистки печных труб от коксоотложений. Большинство из них требует остановки всей установки.

Наиболее успешным признан метод отслаивания с использованием водяного пара, так как данный способ позволяет производить чистку отдельной секции печи в то время, как другая секция остается в работе.

Метод основан на разности коэффициентов линейного расширения кокса и металла труб, что позволяет удалять до 95% отложений. Это увеличивает длительность работы печи до следующего капитального ремонта.

Необходимость проведения отслаивания устанавливаются по величине предельно допустимой температуры стенки металла трубчатого змеевика. Для этого на поверхности труб устанавливаются поверхностные термопары.

Процесс отслаивания состоит из следующих этапов: постепенная замена потока сырья на поток водяного пара; повышение температуры в печи; выдерживание при данных параметрах до окончания чистки; затем происходит обратный процесс снижения температуры и замена потока водяного пара на сырье. Важным моментом является постоянство давления на выходе из змеевика.

Общая продолжительность процесса не превышает 24 часов, сохраняя при этом производительность 50-60% от проектной. Также этот процесс является экологичным.

Для равномерной замены потоков пара и сырья были проведены расчеты на примере двухкамерной печи установки замедленного коксования.

Abstract. Furnaces are "heart" of installations for retarded coking. In them there is a process of heating and a cracking of the raw materials arriving in coke reactors.

In the course of work the coil of the furnace cokes up that leads to reduction of a between-repairs cycle of operation of the furnace and installation as a whole.

There are various ways of cleaning of chimneys from coke. The majority of them demand a stop of all installation.

As the most successful the spalling method with use of water vapor as this way allows to make cleaning of separate section of the furnace is recognized. While other section remains in work.

The method is based on a difference of coefficients of linear expansion of coke and metal of pipes that allows deleting to 95% of deposits. It increases duration of operation of the furnace before the following capital repairs.

Need of carrying out spalling establish in size of maximum permissible temperature of a wall of metal of a tubular coil. For this purpose on a surface of pipes install superficial thermocouples.

Process of spalling consists of the following stages: gradual replacement of a stream of raw materials by a stream of water vapor; temperature increase in the furnace; keeping at these parameters before the end of cleaning; then there is the return process of decrease in temperature and replacement of a stream of water vapor by raw materials. Important point is constancy of pressure at the exit from a coil.

The general duration of process doesn't exceed 24 hours keeping thus productivity of 50-60% from the design. Also this process is eco-friendly.

For uniform replacement of streams of steam and raw materials calculations on the example of the two-chamber furnace of installations for retarded coking were carried out.

Ключевые слова: коксование, печи, межремонтный пробег, коксоотложение, змеевик, чистка, отслаивание, термопара.

Key words: coking, furnace, the between-repairs run, deposition of coke, coil, cleaning, spalling, thermocouple.

Наличие установок замедленного коксования (УЗК) в составе нефтеперерабатывающих заводов предопределяет высокую глубину переработки нефти и способствует выработке (наряду с коксом) большого количества светлых нефтепродуктов и газа [1].

К процессу коксования предъявляется ряд требований:

- высокий выход и качество или кокса или жидких продуктов;
- низкие капитальные и эксплуатационные затраты;
- высокая производительность;
- длительный срок службы без капитального ремонта;
- высокоэффективное технологическое оборудование.

Межремонтный пробег установок замедленного коксования определяется, в основном, длительностью работы реакционно-нагревательных печей. Высокотемпературный нагрев нефтепродуктов в печах УЗК сопровождается закоксовыванием теплопередающей поверхности труб, что и определяет длительность их работы. Средняя продолжительность работы печей отечественных УЗК без остановки на очистку от коксоотложений составляет 6-12 месяцев.

Существенное влияние на длительность межремонтных пробегов УЗК оказывает углеводородный состав сырья коксования. Вовлечение в сырье коксования высокоароматизированных компонентов, например, дистиллятных крекинг-остатков, экстрактов масляного производства, газойлей каталитического крекинга и т.д. не только увеличивает межремонтный пробег установок, но и способствует снижению уровня пены в коксовой камере и, как следствие, снижению скорости коксообразования в змеевиках. Однако при прочих равных условиях не эти факторы определяют длительность межремонтных пробегов установок. В первую очередь это обусловлено конструктивными особенностями печей и технологическими параметрами их работы. Стремясь увеличить межремонтные пробеги, многие предприятия проводили реконструкцию печей, которая заключалась преимущественно в изменении схемы обвязки существующих змеевиков. Хотя на это затрачивались значительные средства, нужные результаты достигались далеко не во всех случаях и не на всех установках. Это связано с тем, что для каждого вида сырья существуют оптимальные параметры (максимально допустимая температура стенок печных труб, длительность пребывания сырья в трубах, гидродинамические условия в змеевике и т.д.), которые, в свою очередь, обеспечиваются оптимальной геометрией змеевика и профилем теплоподвода.

Образование слоя коксоотложений — сложный процесс, связанный со свойствами сырья, а также кинетическими, гидродинамическими,

теплотехническими и конструктивными факторами змеевиков трубчатой печи. Первичным элементом коксоотложений могут быть дефекты внутренней поверхности трубы, прилипшие к трубе пятна вязкого слоя битуминозного вещества, расплавленных минеральных веществ и вкрапленных в этот слой частиц кокса, неплавких минеральных веществ. По мере работы змеевика локальные зоны сливаются, прококсовываются с образованием кольцеобразных отложений из механической смеси частиц кокса и минеральных веществ. Скорость образования коксоотложений увеличивается с ростом концентрации коксообразующих компонентов по мере движения потока и перехода в паровую фазу легких фракций, вследствие испарения и углубления крекинга сырья.

Закоксовывание реакционно-нагревательных змеевиков печей может быть вызвано перебросом коксующейся массы из реакционных камер в ректификационную колонну с последующим попаданием нестабильной смеси из вторичного сырья и пены в трубы змеевика печей, расслоением ее с выделением битуминозного остатка на внутреннюю поверхность трубы и формированием из него неподвижного слоя коксоотложений.

Также при оценке причин закоксовывания и прогара труб печи немаловажное значение имеют гидродинамические и тепловые критерии. С этой точки зрения механизм закоксовывания объясняется переходом дисперсно-кольцевого режима течения потока в полностью дисперсный, характерный для «кризиса теплообмена второго рода». При дисперсно-кольцевом режиме течения паровая фаза сплошным потоком движется вдоль оси трубы, в то время как жидкая фаза в виде кольцевой пленки движется вдоль стенки. Поверхность кольцевой пленки взаимодействует с потоком пара, на ней образуются волны, гребни которых срываются и уносятся ядром потока в виде мельчайших капель. Одновременно часть капель вследствие турбулентной диффузии возвращается в пленку. Таким образом, между пленкой и ядром происходит непрерывный массообмен.

Толщина жидкой пленки зависит от скорости газа и жидкости, физических свойств обеих фаз, геометрии змеевика и т. д. [2].

Закоксовывание теплопередающей поверхности трубы вызывает снижение коэффициента теплопередачи, повышение температуры стенки металла труб, что приводит к сокращению длительности межремонтного пробега установки [3].

Для очистки печных труб от коксоотложений используется несколько способов (рисунок 1):



Рисунок 1. Способы раскоксовывания печных змеевиков

1. Ранее использовался механический способ очистки с использованием турбинок или шарошек. Данный способ требует значительных затрат времени и ручного труда на остановку установки, подготовку к ремонту, непосредственно на очистку труб от кокса и оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду; в настоящее время данный способ не используется [4].

2. Очистка печных труб от кокса паровоздушным способом является наиболее распространенной. При этом кокс удаляют из труб выжиганием, пропуская через закоксованный змеевик смесь воздуха с паром и одновременно нагревая его. Преимущества паровоздушного метода по сравнению с механическим способом заключаются в экономии времени и труда, так как процесс очистки идет быстро и не требует открытия ретурбентов, а также в отсутствии шума и коксовой пыли в окружающей

атмосфере. Недостатком паровоздушного способа является опасность перегрева труб выше температуры предела текучести металла, что приводит к преждевременному их износу, прогарам и выбраковке [5].

3. Способ очистки печных труб от коксоотложений с использованием скреперов, которые представляют собой эластичные пробки овального вида с закрепленными в них металлическими штырьками (рисунок 2). Скреперы прогоняются под высоким напором воды через весь змеевик [6].



Рисунок 2. Разнообразие пигов

Перед началом чистки останавливается секция печи и удаляются устройства, создающие помехи при прохождении пластичных скреперов внутри трубы. Затем к фланцам труб подключаются устройства подачи и приема пластичных скреперов (лончеры). К лончерам подключается насосная установка, обеспечивающая требуемое давление и позволяющая создать реверс потока. Скреперы загружаются в лончеры и прокачиваются через змеевик под давлением насоса. Во избежание застревания скреперы имеют разные диаметры. Начинают чистку со скрепера малого диаметра, затем, по мере очищения, диаметр увеличивают. По завершению работ производится обратная сборка и подключение секции.

При применении пластичных скреперов также имеет большое значение геометрия нанесения шипов на поверхности скрепера.

В процессе модернизации была разработана и введена в промышленную эксплуатацию технология "умного пига", которая позволяет проводить диагностику внутренней поверхности труб после проведения чистки.

По завершению механической чистки в трубу через лончеры помещается так называемый "умный пиг", оборудованный

ультразвуковыми датчиками, который проводит обследование поверхности трубы по всей ее длине. Перемещение "умного пига" осуществляется потоком воды, создаваемым той же насосной установкой, что используется и при проведении механической чистки труб (рисунок 3) [8].

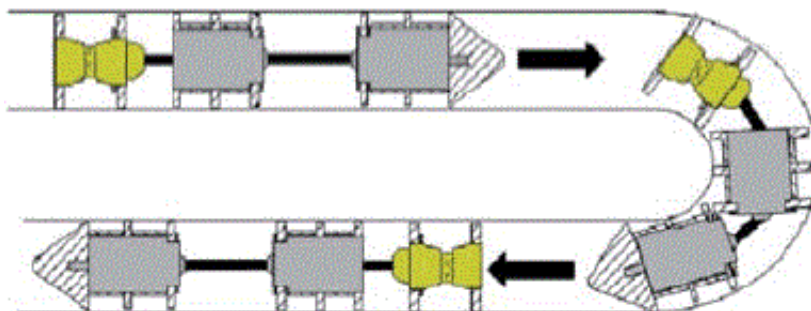


Рисунок 3. Схема прохождения "умного пига"

Данный способ очистки проводится при остановленной печи, вследствие чего является наиболее щадящим для внутренней поверхности труб. При этом эффективность удаления кокса значительно возрастает.

4. В последние годы на зарубежных УЗК широко используется способ отслаивания («spalling») с использованием водяного пара. Механизм очистки труб змеевиков печи от коксоотложений основан на том, что при нагреве труб до 650-700 °С в среде водяного пара происходит прокалка коксоотложений с типичными для кокса преобразованиями: потерей летучих веществ, усадкой, повышением твердости и хрупкости. Так как кокс имеет более низкий коэффициент линейного расширения по сравнению с металлом труб, то при циклических нагреве - охлаждении этой системы происходит разрушение контакта кокса с металлом трубы, его растрескивание, отслаивание и вынос потоком водяного пара из змеевика [7].

Очистку труб змеевика печи от коксоотложений предусматривается проводить с помощью водяного пара высокого давления или, при его отсутствии, с помощью водяного конденсата с выносом продуктов очистки в работающий реактор или в емкость через сепаратор, находящийся под давлением, близким к атмосферному, или в боров печи.

Проведение стадий нагрева, пропарки и продувки печных труб по этому методу позволяет удалять 90–95% кокса. Метод отслаивания не требует полной остановки установки.

Момент необходимости проведения отслаивания кокса устанавливают по величине предельно допустимой температуры стенки металла трубчатого змеевика. Температура поверхности змеевика служит индикатором процессов, происходящих в трубе. Температура со временем постепенно повышается, что свидетельствует об образовании кокса в трубе. Когда температура достигает величины, максимально допустимой для металла печной трубы, это свидетельствует о необходимости проведения очистки трубы от кокса. На рисунке 4 приведен типичный график изменения температуры стенок трубы печи, где коксоотложения удаляются способом отслаивания.

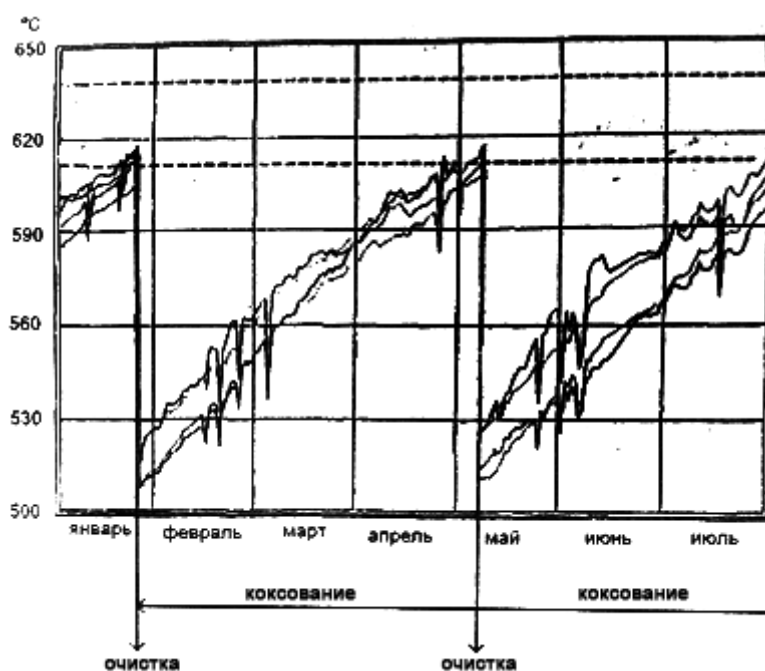


Рисунок 4. График изменения температуры стенок трубы печи

Система контроля за состоянием металла труб змеевика печи включает: поверхностные термопары, соответствующие измеряемому температурному интервалу (до 700 °С), компенсационные провода, вторичные приборы по регистрации измеряемого параметра и его

регулировки с помощью соответствующих исполнительных механизмов с ручным или автоматизированным управлением.

На рисунке 5 приведен возможный вариант крепления поверхностных термопар, обеспечивающих высокую надежность и точность показаний первичного элемента системы контроля.

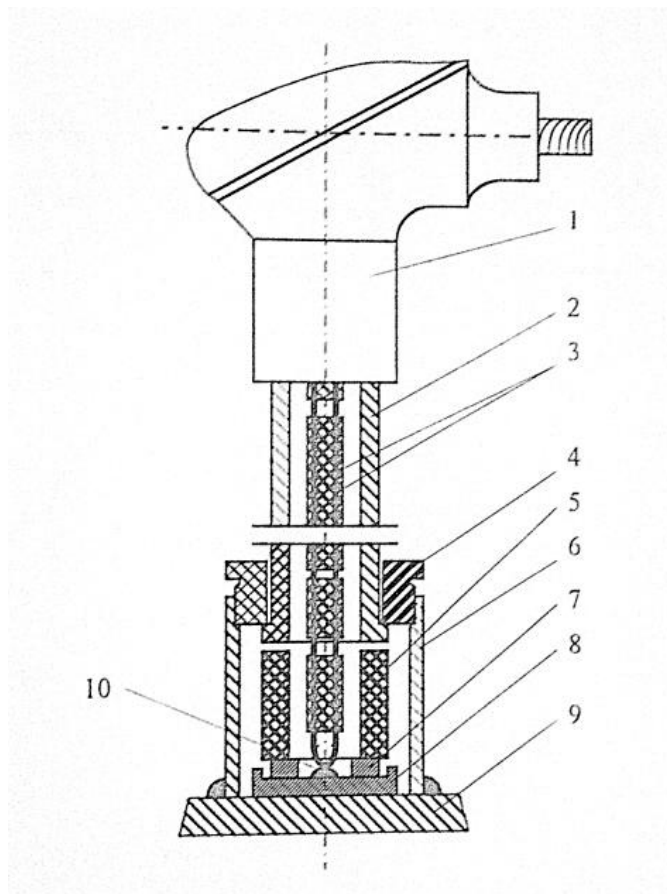


Рисунок 5. Схема крепления поверхностных термопар
1 - головка термопары; 2 - кожух; 3 - термоэлектроды; 4 - прижимная гайка, 5 - фарфоровая трубка; 6 - бобышка; 7 - асбестовое кольцо; 8 - контактная пластина; 9 - стенка трубы; 10 - горячий спай термопары

Термопары устанавливаются на теневой стороне труб, в наиболее напряженных участках змеевика печи.

Карманы термопар выведены через кладку печи. Всего устанавливается ориентировочно по 6-8 поверхностных термопар на каждый поток.

Для подачи конденсата в змеевик печи монтируют дополнительную линию и оборудуют ее регуляторами расхода.

Очистка начинается со змеевика, температура стенки которого достигла 620-630 °С. Второй змеевик работает в обычном режиме коксования. К очистке приступают через 4-5 часов после остановки камеры на режим коксования. Процедуру отслаивания начинают путем постепенной подачи водяного пара в очищаемый змеевик при одновременном снижении расхода исходного сырья. При этом следят, чтобы давление на входе в змеевик оставалось равным рабочему давлению при коксовании. Скорость подачи водяного пара в змеевиках не должна превышать 100 м/сек, т.к. при большей скорости может наблюдаться эрозия труб. Заменяв таким образом поток сырья на поток пара, медленно увеличивают температуру змеевика до 590 °С подачей топлива к форсункам печи. Такая температура держится до конца чистки. За значением температуры стенок труб печи постоянно следят по показаниям поверхностных термопар.

Вследствие увеличения проходного сечения трубы из-за разрушения и выноса коксоотложений, подачу конденсата необходимо увеличивать для того, чтобы давление на входе в змеевик оставалось на прежнем уровне. По окончании чистки расход конденсата снижают, предварительно снизив температуру до 500-510 °С, а расход сырья увеличивают, тем самым выводя очищенную секцию печи в рабочие параметры.

Таким образом, для организации очистки змеевиков от коксоотложений способом отслаивания необходимо:

- обеспечить правильность установки поверхностных термопар и достоверность показаний температуры поверхности стенок труб змеевиков;

- установить водяной насос, который позволит четко регулировать необходимое количество водяного конденсата до 6-8 т/ч;

- по причине подачи большого количества воды в коксующуюся камеру, организовать подачу антипенной присадки в процессе всего цикла проведения раскоксовывания.

Общая продолжительность процесса раскоксовывания не превышает 24 часов, при этом установка продолжает работать при производительности 50-60% от проектной. Продукты очистки змеевиков от коксоотложений направляются непосредственно в работающий реактор, что, естественно, снимает вопрос экологии. Кроме того, в процессе раскоксовывания экономится некоторое количество топлива, т.к. при этом часть форсунок не задействовано.

Выводы

Очистка змеевика печи от коксоотложений продлевает работу, как печи, так и всей установки в целом. Каждый способ очистки имеет свои преимущества и недостатки. Так, метод с использованием скреперов имеет положительные моменты:

1. Высокая эффективность данного способа чистки.
2. Существенное сокращение времени проведения работ (более чем в 2 раза по сравнению с методом паровыжига).
3. Безопасность проведения работ.
4. Существенная экономия энергоресурсов НПЗ при проведении чистки.
5. Технология чистки безопасна для труб и не приводит к их повреждению.
6. Применение данного метода обеспечивает удаление посторонних предметов, находящихся внутри секций печи, которые могли быть оставлены строителями и монтажникам и во время монтажа установки и которые не удаляются обычными методами.
7. Возможность дополнения мероприятий механической чистки диагностикой при помощи "умного пига".
8. Экологическая чистота метода.

Однако он требует остановки печи и всей установки, поэтому его применяют, в основном, во время капитального ремонта.

Способ отслаивания можно использовать при работающей печи, при этом лишь снизив производительность установки на время чистки. Данный способ чаще применяют между капитальными ремонтами, для поддержания печи в нормальном рабочем состоянии. Отложения, которые не удалось очистить отслаиванием, удаляют другим способом во время капитального ремонта.

Нами на примере двухкамерной печи промышленной УЗК проведены расчеты змеевика при замене исходного сырья на водяной конденсат с целью проведения очистки печи от коксоотложений.

Список используемых источников

1 Направление развития процесса замедленного коксования в схемах отечественных нефтеперерабатывающих заводов/ Габбасов Р.Г. [и др.] // Нефтегазовое дело. 2010. Т.8. № 2. С.90-93.

2 Современные и перспективные термолитические процессы глубокой переработки нефтяного сырья/ Валявин Г.Г. [и др.]. С-Пб. Недра. 2010. 224 с.

3 Изучение скорости коксоотложения в трубчатом змеевике при высокотемпературном нагреве тяжелых нефтяных остатков / Алексеев П.М. [и др.] Тр. Башкирский науч.-исслед. институт по переработке нефти. Вып. XIII. Уфа: БашНИИ НП. 1975. С. 177-183.

4 Пичугин А.П. Переработка нефти. М., Гостоптехиздат. 1960. 344с.

5 Походенко Н. Т., Брондз Б. И.. Получение и обработка нефтяного кокса. М. Химия. 1986. С. 116-118.

6 Пертухин И.Е. Новые технологии механической очистки печных змеевиков от коксовых отложений// Химия и технология топлив и масел. 2007. №2. С. 16-17.

7 Delayed Coking Continues. Importance NPRAQ and A-3 Oil and Gas J., 1988, v. 86, № 17, pp.42-47.

8 ЦТК-ЕВРО. Технология механической чистки змеевиков печей. Информационная статья: [сайт]. URL: <http://www.ctkeuro.ru/folder17.html>

References

1 Napravlenie razvitija processa zamedlennogo Gabbasov R.G. [i dr.] koksovaniya v shemah otechestvennyh neftepererabatyvajushhih zavodov/// Neftegazovoe delo. 2010. t.8. №2. С.90-93. [in Russian].

2 Sovremennye i perspektivnye termoliticheskie processy glubokoj pererabotki nefljanogo syr'ja/ Valjavin G.G. [i dr.]S-Pb. Nedra. 2010. 224 s. [in Russian].

3 Izuchenie skorosti koksootlozhenija v trubchatom zmeevike pri vysokotemperaturnom nagreve tjazhelyh nefljanых остатков. Alekseev P.M. [i dr.] Tr. Bashkirskij nauch.-issledov. institut po pererabotke nefti. Vyp. XIII. – Ufa. BashNII NP. 1975. С. 177-183. [in Russian].

4 Pichugin A.P. Pererabotka nefti. M., Gostoptehizdat. 1960. 344 s. [in Russian].

5 Pohodenko N. T., Brondz B. I. Poluchenie i obrabotka nefljanogo koksa. M. Himija. 1986. С. 116-118. [in Russian].

6 Pertuhin I.E. Novye tehnologii mehanicheskoy ochistki pechnyh zmeevikov ot koksovyh otlozhenij// Himija i tehnologija topliv i masel. 2007. №2. С. 16-17. [in Russian].

7 Delayed Coking Continues. Importance NPRAQ and A-3// Oil and Gas J., 1988, v. 86, №17, pp.42-47. [in English].

8 СТК-ЕВРО. Tehnologija mehanicheskoy chistki zmeevikov pechej. Informacionnaja stat'ja: [sajt]. URL: <http://www.ctkeuro.ru/folder17.html>

Сведения об авторах

About the authors

Запорин В. П., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V. P. Zaporin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair «Oil and Gas Technology», FSBEI HPE «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, the Russian Federation

Валявин Г. Г., д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация

G.G. Valjavin, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Oil and Gas Technology», FSBEI HPE «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, the Russian Federation

Мухамадеев Д. Х., магистрант, группа МТПз 21-12-01, кафедра «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

D. K. Mukhamadeev, Master Student of MTPz 21-12-01 Group of the Chair «Oil and Gas Technology», FSBEI HPE «Ufa State Petroleum Technological University», Ufa, the Russian Federation

e-mail: mukhamadeyev86@mail.ru