

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201992399** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.02.28

(22) Дата подачи заявки
2018.04.04

(51) Int. Cl. **B01J 8/06** (2006.01)
B01J 19/24 (2006.01)
C10G 9/36 (2006.01)
F28D 7/00 (2006.01)
F28F 1/40 (2006.01)
F28D 7/06 (2006.01)
F28D 7/16 (2006.01)

(54) ТРУБА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

(31) **10 2017 003 409.5; 17000601.9**

(32) **2017.04.07**

(33) **DE; EP**

(86) **PCT/EP2018/058615**

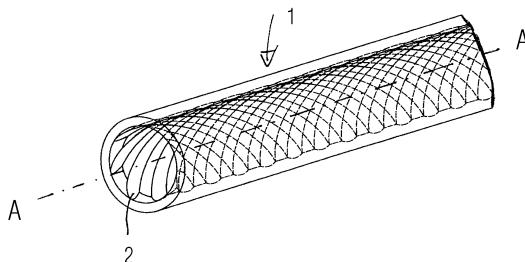
(87) **WO 2018/185167 2018.10.11**

(71) Заявитель:
**ШМИДТ + КЛЕМЕНС ГМБХ + КО.
КГ (DE)**

(72) Изобретатель:
**Якоби Дитлинде, Хейланд Штеффен
Александр, Вайгандт Йорг Дитмар
(DE)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Изобретение относится к трубе для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, причем труба простирается вдоль продольной оси и имеет число N_T желобков, сформированных во внутренней поверхности трубы, спиралеобразно проходящих вокруг продольной оси вдоль внутренней поверхности, внутренняя поверхность, в которой были сформированы желобки, в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси имеет диаметр D_i и радиус $r_1 = D_i/2$, желобки в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси в своем дне желобков соответственно имеют форму дуги окружности, и дуга окружности имеет радиус r_2 , и желобки соответственно имеют глубину TT желобков, которая соответствует кратчайшему расстоянию в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси между окружностью с диаметром D_i , в которой находится внутренняя поверхность и ее срединная точка находится на продольной оси, и самой отдаленной от продольной оси точкой дна желобка.



A1

201992399

201992399

A1

ТРУБА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Изобретение относится к трубе для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы. Кроме того, изобретение относится к устройству для термического разложения углеводородов.

Для высокотемпературного пиролиза углеводородов (производных нефти) хорошо зарекомендовали себя трубчатые печи, в которых смесь углеводорода и водяного пара при температурах свыше 750°C пропускается через ряд размещенных по отдельности или в форме меандра труб (крекинг–змеевиков) из жаростойкого железо–хромо–никелевого сплава с высокой устойчивостью к окислению и, соответственно, стойкостью к образованию окалины и высокой устойчивостью к науглероживанию. Змеевики состоят из проложенных вертикально или горизонтально прямых трубчатых участков, которые соединены между собой U–образными коленчатыми трубами или размещены параллельно друг другу. Обычно они нагреваются с помощью размещенных в боковых стенках и/или также посредством размещенных в полу горелок, и поэтому имеют обращенную к горелкам так называемую светлую сторону, а также отвернутую от нее на 90°, то есть, по направлению к серии труб, так называемую теневую сторону. При этом средние температуры (ТМТ) стенки трубы отчасти составляют свыше 1000°C.

Срок службы крекинговой трубы весьма значительно зависит от предела ползучести и стойкости к науглероживанию, а также от скорости закоксовывания материала трубы. Решающими факторами скорости закоксовывания, то есть, нарастания слоя углеродных отложений (пиролитического кокса) на внутренней стенке трубы, наряду с видом применяемого углеводорода, являются температура разложения в области внутренней стенки и так называемая жесткость крекинга, под которой подразумевается влияние давления в системе и время пребывания в системе труб на выход этилена. Жесткость крекинга регулируется посредством средней выходной температуры пиролизного газа (например, 850°C). Чем больше температура газа вблизи внутренней стенки трубы превышает эту температуру, тем более интенсивно нарастает слой пиролитического кокса, изолирующее действие которого может обуславливать еще большее повышение температуры стенки трубы. Хотя применяемые в качестве материала трубы железо–хромо–никелевые сплавы с 0,4% углерода, более 25% хрома и свыше 20% никеля, например, 35% хрома, 45% никеля и, по обстоятельствам, 1% ниобия, обладают высокой устойчивостью к науглероживанию, углерод диффундирует на местах дефектов оксидного слоя в стенку трубы и приводит там к значительному науглероживанию, которое может достигать до уровня от 1% до 3% на глубинах в стенке от 0,5 мм до 3 мм. Этим обуславливается значительное охрупчивание материала трубы с опасностью растрескивания при переменной термической нагрузке, в особенности при пуске и

отключении печи.

Чтобы ликвидировать углеродные отложения (закоксовывание) на внутренней стенке трубы, необходимо время от времени останавливать эксплуатацию в режиме крекинга и выжигать пиролитический кокс с помощью паровоздушной смеси. Для этого требуется прекращение эксплуатации на время до 36 часов, и поэтому значительно ухудшает экономические показатели способа.

Из описания изобретения к британскому патенту 969 796 и выложенного описания изобретения к европейской неакцептованной заявке 1 136 541 A1 также известно применение крекинг-труб с внутренними ребрами. Хотя эти внутренние ребра приводят к увеличению внутренней поверхности на несколько процентов, например, на 10%, и тем самым к лучшей теплопередаче: однако с ними связан также тот недостаток, что по сравнению с гладкой трубой возникают значительно повышенные потери напора вследствие трения на увеличенной внутренней поверхности трубы. Повышенная потеря напора требует увеличения давления в системе, вследствие чего неизбежно изменяется время пребывания и ухудшается выход. К тому же имеет место то, что известные материалы труб с высокими уровнями содержания углерода и хрома уже не могут быть подвергнуты холодному формованию, например, профилированию способом холодной вытяжки. Они имеют тот недостаток, что их формуемость сильно снижается с возрастанием жаропрочности. Это привело к тому, что для желательных в отношении выхода этилена высоких температур стенки трубы, например, на уровне 1050°C, требуется применение труб, изготовленных центробежным литьем. Однако поскольку сформированные центробежным литьем трубы могут быть выполнены только с цилиндрической стенкой, существует потребность в способе формования, например, обработкой с электролитическим вытравливанием, или в способе сварного формования, чтобы сформировать внутренность трубы.

Наконец, из патентного документа US 5 950 718 также известен целый спектр углов наклона внутренних ребер и также расстояний между ними, однако без учета состояния ребер.

Из EP 1 525 289 B9 известна ребристая труба для термического разложения углеводородов, которая имеет наклонные относительно оси трубы, проходящие спирально внутренние ребра.

Из WO 2010/043375 A1 известен железо-хром-никелевый сплав с высокой устойчивостью к окислению и науглероживанию, высоким пределом длительной прочности и пределом ползучести, содержащий от 0,4% до 0,6% углерода, от 28% до 33% хрома, от 15% до 25% железа, от 2% до 6% алюминия, до 2% кремния, до 2% марганца, до 1,5% ниобия, до 1,5% тантала, до 1,0% вольфрама, до 1,0% титана, до 1,0% циркония, до 0,5% иттрия, до 0,5% церия, до 0,5% молибдена, до 0,1% азота, с остальным количеством из никеля, в том числе с привнесенными в процессе выплавки примесями.

В свете вышеизложенного, в основу изобретения положена задача повышения рентабельности термического разложения углеводородов в трубчатых печах с

нагреваемыми снаружи трубами.

Эта задача решается посредством предметов пунктов 1, 2, 9 и 10 формулы изобретения. Предпочтительные варианты осуществления следуют из зависимых пунктов формулы изобретения и нижеследующего описания.

Было выяснено, что в случае трубы с признаками ограничительной части пункта 1 формулы изобретения достигается соотношение между характеризующими трубу признаками, а именно

- числом N_T нанесенных на внутреннюю поверхность трубы, проходящих спирально вокруг оси трубы вдоль внутренней поверхности желобков,
- диаметром внутренней поверхности, на которую были нанесены желобки, в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси,
- радиусом r_2 дна желобка в желобках, имеющих в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси в своем дне желобка соответственно форму дуги окружности, и

- глубиной T_T желобка, которая соответствует наименьшему расстоянию в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси между окружностью с диаметром D_i , на которой находится внутренняя поверхность, и ее центральная точка находится на продольной оси, и самой отдаленной точкой дна желобка от продольной оси,

при учете которого может быть улучшена рентабельность термического разложения углеводородов в трубчатых печах с нагреваемыми снаружи трубами.

А именно, было обнаружено, что может быть разработан основанный на учете условий теплопередачи параметр, который может быть рассчитан двумя различными, но соответственно зависящими только от описанных выше характеризующих трубу признаков путями.

Согласно первому рассуждению относительно теплопередачи, этот параметр может быть выражен как

$$P1 * |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 * |D_{\ddot{A}qv}| + P3,$$

с константами $P1$, $P2$ и $P3$, а также с численным значением $|D_{\ddot{A}qv}|$ зависящего от измеренного в мм внутреннего диаметра D_i эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$.

Хорошие результаты достигаются, когда в качестве константы $P1$ выбирается число из заявленного диапазона от $-0,2$ до $-0,3$. В одном предпочтительном варианте осуществления константа $P1$ выбирается из диапазона от $-0,25$ до $-0,295$, в особенности предпочтительно из диапазона от $-0,287$ до $-0,2655$. В особенности предпочтительно константа $P1$ равняется $-0,287$ или $-0,2655$.

Хорошие результаты достигаются, когда в качестве константы $P2$ выбирается число из заявленного диапазона от 310 до 315 . В одном предпочтительном варианте осуществления константа $P2$ выбирается из диапазона от 310 до 312 , в особенности предпочтительно из диапазона от $310,42$ до $311,31$. В особенности предпочтительно константа $P2$ равняется $310,42$ или $311,31$.

Хорошие результаты достигаются, когда в качестве константы $P3$ выбирается

число из заявленного диапазона от 200 до 1500. В одном предпочтительном варианте осуществления константа P_3 выбирается из диапазона от 230 до 1400, в особенности предпочтительно из диапазона от 261,21 до 1076. В особенности предпочтительно константа P_3 равняется 261,21 или 1076.

Используемый для формирования трубы согласно изобретению параметр в вышеуказанном соотношении выражается в зависимости численного значения $|D_{\ddot{A}qv}|$ зависящего от измеренного в мм внутреннего диаметра D_i эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$. Под понятием «численное значение» в этом контексте и в остальных рассуждениях подразумевается безразмерная величина объединенного из численного значения и единицы измерения значения физической величины. Физическая величина представляет собой количественно определяемое свойство физического объекта, процесса или состояния. Его значение (значение величины) приводится как произведение численного значения (числовой меры) и единицы измерения. Поскольку используемые для формирования трубы соотношения являются безразмерными, приходится прибегать к численному значению физических величин. Чтобы разъяснить это, в описании и в пунктах формулы изобретения численное значение представляет величину с чаще всего применяемой для представления размера номенклатурой, например, как $|D_{\ddot{A}qv}|$. Представление переменных величин между двумя горизонтальными линиями, например, как $|D_{\ddot{A}qv}|$, в контексте этого описания и в пунктах формулы изобретения следует понимать как представление численного значения выраженного переменными величинами значения (значения величины) физической величины. Численное значение $|D_i|$ измеренного в мм диаметра D_i , например, 70 мм, представляет собой число 70.

Используемый для формирования трубы согласно изобретению параметр в вышеуказанном соотношении выражается в зависимости численного значения $|D_{\ddot{A}qv}|$ зависящего от измеренного в мм внутреннего диаметра D_i эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$. При этом эквивалентный диаметр представляет собой диаметр внутренней поверхности, которую имела бы гладкая, не снабженная желобками труба, площадь проточного сечения которой соответствует площади проточного сечения соответствующей изобретению трубы. В качестве площади проточного сечения подразумевается свободная площадь в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси внутри трубы. Было показано, что рассуждения относительно теплопередачи часто могут быть проще соотнесены с гладкой трубой. Кроме того, оказалось, что пользователь соответствующей трубы в своих устройствах для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, часто в прошлом имел дело с гладкими трубами. Поэтому для переналадки на соответствующие изобретению трубы было бы более доходчиво, когда может быть представлено сравнение с соответствующей по площади проточного сечения гладкой трубой.

Эквивалентный диаметр $D_{\ddot{A}qv}$ получается из соотношения $D_{\ddot{A}qv} = 2r_{\ddot{A}qv}$ по радиусу внутренней поверхности, которую имела бы гладкая, не снабженная желобками труба, площадь проточного сечения которой соответствует площади проточного сечения

соответствующей изобретению трубы. Если площадь $A_{\ddot{A}qv}$ проточного сечения гладкой трубы ($A_{\ddot{A}qv} = \pi(r_{\ddot{A}qv})^2$) отождествлять с площадью проточного сечения соответствующей изобретению трубы, то площадь $A_{\ddot{A}qv}$ проточного сечения гладкой трубы можно выразить характеризующими трубу признаками следующим образом (используемые символы относятся к номенклатуре, как они, например, разъясняются также на Фиг. 5):

$$|r_{\ddot{A}qv}| = \left| \sqrt{\frac{|A_{\ddot{A}qv}|}{\pi}} \right|$$

$$A_{\ddot{A}qv} = A_1 + N_T \cdot A_T$$

$$A_1 = \pi \cdot |r_1|^2$$

$$A_T = \left[|r_2| \cdot \frac{b_2}{2} - \frac{s \cdot (|r_2| - (|TT| + h))}{2} \right] - \left[|r_1| \cdot \frac{b_1}{2} - \frac{s \cdot (|r_1| - h)}{2} \right]$$

$$b_1 = 2 \cdot |r_1| \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|}{|r_1|} \right)$$

$$b_2 = 2 \cdot |r_2| \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|}{|r_2|} \right)$$

$$s = 2 \cdot \left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|$$

$$h = \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)}$$

Площадь проточного сечения соответствующей изобретению трубы, приравниваемая к площади $A_{\ddot{A}qv}$ проточного сечения гладкой трубы, выводится из ограниченной внутренней поверхностью, в которой проделаны желобки, площади A_1 , которая может быть легко определена по радиусу внутренней поверхности с $A_1 = \pi r_1^2$, и дополнительных площадей, которые создаются числом N_T желобков с из данными площадями A_T проточного сечения.

После решения вышеуказанного отношения приравниваемая к площади $A_{\ddot{A}qv}$ проточного сечения гладкой трубы площадь проточного сечения соответствующей изобретению трубы тем самым может быть выражена следующим образом исключительно посредством характеризующих трубу признаков (далее также приводится ссылка на

$$C1+C2*|TT|+C3*VD+C4*|D_{Äqv}|$$

$$\begin{aligned}
& +(|TT|-C5)*(VD-C6)*C7 \\
& +(|TT|-C5)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C9 \\
& +(VD-C6)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C10 \\
& +(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C11
\end{aligned}$$

в зависимости от численного значения $|D_{\ddot{A}qv}|$ зависящего от измеренного в мм внутреннего диаметра D_i эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$, числа N_T желобков и численного значения $|TT|$ измеренной в мм глубины TT желобков, а также плотности VD желобков, которая описывает отношение N_T желобков трубы в отношении к контрольному числу N_{ref} максимально возможных наносимых на внутреннюю поверхность трубы с равным эквивалентным диаметром $D_{\ddot{A}qv}$ желобков с глубиной желобков $TT=1,3$ мм в процентах. При этом константы устанавливаются следующим образом:

$$\begin{aligned}
C1 &= 1946,066 \\
C2 &= 302,378 \\
C3 &= -2,178 \\
C4 &= 266,002 \\
C5 &= 1,954 \\
C6 &= 50,495 \\
C7 &= -2,004 \\
C8 &= 79,732 \\
C9 &= -1,041 \\
C10 &= 0,04631 \\
C11 &= -0,26550
\end{aligned}$$

Было обнаружено, что, когда оба этих метода расчета параметра отождествляются, получается отношение

$$\begin{aligned}
& P1*|D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2*|D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\
& = \\
& C1 + C2*|TT| + C3*VD + C4*|D_{\ddot{A}qv}| \\
& + (|TT|-C5)*(VD-C6)*C7 \\
& + (|TT|-C5)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C9
\end{aligned}$$

или, с учетом дополнительных перекрестных связей, отношение

$$\begin{aligned}
& P1*|D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2*|D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\
& = \\
& C1 + C2*|TT| + C3*VD + C4*|D_{\ddot{A}qv}| \\
& + (|TT|-C5)*(VD-C6)*C7 \\
& + (|TT|-C5)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C9 \\
& + (VD-C6)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C10 \\
& + (ID_{\ddot{A}qv}-C8)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C11
\end{aligned}$$

как описание отношения характеризующих трубу признаков между собой, которые характеризуют трубу, которая улучшает рентабельность термического разложения углеводородов в трубчатых печах с нагреваемыми снаружи трубами. Конкретно

применяемые для трубы, характеризующие трубу признаки, а именно

- число N_T нанесенных на внутреннюю поверхность трубы, проходящих спирально вокруг оси трубы вдоль внутренней поверхности желобков,
- диаметр внутренней поверхности, на которую были нанесены желобки, в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси,
- радиус r_2 дна желобка в желобках, имеющих в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси в своем дне желобка соответственно форму дуги окружности, и
- глубина $ТТ$ желобков, которая в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси соответственно соответствует наименьшему расстоянию между окружностью с диаметром D_i , на которой находится внутренняя поверхность, и ее центральная точка находится на продольной оси, и самой отдаленной точкой дна желобка от продольной оси,

могут быть определены простыми итерациями на основе этого отношения. Каждое спаривание этих четырех характеризующих трубу признаков, которое удовлетворяет этому отношению, относится к трубе, которая повышает рентабельность термического разложения углеводородов в трубчатых печах с нагреваемыми снаружи трубами.

На практике оказалось, что издержки на итерации в практическом смысле могут быть даже еще более сокращены. Так, регламентации для отдельных из четырех характеризующих трубу признаков получаются из ограничений относительно жесткости или условий изготовления, или также из того, что труба должна быть выполнена с определенной площадью проточного сечения.

Определяемый установкой, в которой должна быть использована труба, максимально возможный вес отдельной трубы может обуславливать ограничение максимальной толщины стенки трубы, что опять же по соображениям жесткости приводит к ограничению максимально возможной глубины $ТТ$ желобков. Ограничения для толщины стенки (и тем самым для максимально возможной глубины $ТТ$ желобков) могут обуславливаться также другими аспектами, например, достигаемой теплопередачей.

Соображения жесткости также могут задавать верхний предел для числа N_T нанесенных на внутреннюю поверхность трубы, спирально проходящих вокруг продольной оси вдоль внутренней поверхности желобков, в сочетании с глубиной $ТТ$ желобков. Если наносятся слишком многие, слишком глубокие желобки, может быть слишком сильно ослаблена жесткость трубы.

Также вследствие склонности трубы к закоксовыванию при термическом разложении углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемую снаружи трубу, могут создаваться ограничения относительно радиуса r_2 дуги окружности дна желобка в сочетании с глубиной $ТТ$ желобка.

Кроме того, ограничения, например, в отношении радиуса r_2 дна желобка в форме дуги окружности в сочетании с глубиной $ТТ$ желобка определяются условиями

изготовления. Например, желобки могут быть изготовлены способом глубокого сверления отверстий, например, по технологии, как описанной в представленной заявителем еще не опубликованной германской патентной заявке 10 2016 012 907.7. При этом для формирования желобков могут применяться поворотные режущие пластины. Эти поворотные режущие пластины могут быть приобретены с заданными размерами. Если прибегать, что рекомендуется по экономическим соображениям, к уже приобретенным поворотным режущим пластинам, и отказываться, что также возможно, от возможности изготовления поворотных режущих пластин специально для получения конкретной трубы, то тем самым также получают фиксированные условия для радиуса r_2 дна желобка в форме дуги окружности в сочетании с глубиной TT желобка. Также может оказаться, что труба с первым числом желобков может быть изготовлена быстрее и явно экономичнее, чем труба со вторым, большим по сравнению с первым, числом желобков, так что отсюда также получается ограничение для числа наносимых желобков.

Ограничения могут обуславливаться также тем, что для трубы требуется известная пропускная способность в отношении обрабатываемой смеси, и отсюда минимальная площадь проточного сечения трубы.

В результате этого перед проведением итераций задаются диапазоны, в которых отдельные из четырех характеризующих трубу признаков не могут быть приложимыми, и тем самым они могут быть исключены при итерации.

В описанном выше отношении

$$C1 + C2 * |TT| + C3 * VD + C4 * |D_{\ddot{A}qv}| \\ + (|TT| - C5) * (VD - C6) * C7 \\ + (|TT| - C5) * (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * C9$$

и, соответственно, учитывающем дополнительные перекрестные связи отношении

$$C1 + C2 * |TT| + C3 * VD + C4 * |D_{\ddot{A}qv}| \\ + (|TT| - C5) * (VD - C6) * C7 \\ + (|TT| - C5) * (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * C9 \\ + (VD - C6) * (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * C10 \\ + (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * C11$$

используется плотность VD желобков. Плотность VD желобков представляет собой отношение числа N_T желобков трубы в отношении к контрольному числу N_{ref} максимально возможных наносимых на внутреннюю поверхность трубы с равным эквивалентным диаметром $D_{\ddot{A}qv}$ желобков с глубиной желобков $TT=1,3$ мм в процентах.

Соответствующий изобретению опыт позволяет применять трубы с широким спектром диаметров D_i внутренней поверхности, в которой сформированы желобки. Очевидно, что в трубе при большем диаметре D_i может быть сформировано большее число желобков с заданным радиусом r_2 дна желобка в форме дуги окружности и заданной глубиной TT желобка, чем в трубе с меньшим диаметром D_i . Чтобы тем не менее иметь возможность вывести отношение для всех диаметров, была разработана нормализация, при которой уже используется не фактическое число желобков N_T в отношении, а

плотность VD желобков.

Плотность VD желобков получается, поскольку она выражается в процентах, из отношения

$$VD = N_T / N_{ref} * 100$$

Причем контрольное число N_{ref} представляет собой наибольшее натуральное число, при котором выполняется отношение

$$N_{ref} \leq \frac{\pi}{\arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{\ddot{A}qv}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{\ddot{A}qv}|}} \right)},$$

причем $A_{\ddot{A}qv}$ представляет рассчитанный по формуле (1) эквивалентный диаметр, и причем

$$|r_{\ddot{A}qv}| = \left| \sqrt{\frac{|A_{\ddot{A}qv}|}{\pi}} \right|$$

и при котором в то же время можно итеративно найти определяемый r_{Nref} так, что при обратном обращении к рассчитанному по формуле (1) эквивалентному диаметру $A_{\ddot{A}qv}$ выполняется следующее отношение (далее называемое также формулой (2)):

$$\begin{aligned}
& A_{\Delta qv} \\
&= \pi \cdot |r_{N_{ref}}|^2 + N_{ref} \\
&\cdot \left[\left[|r_2|^2 \right. \right. \\
&\cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_2|} \right) \\
&- \left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right| \\
&\cdot \left(|r_2| - \left(1,3 + \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right) \right) \left. \right] \\
&- \left[|r_{N_{ref}}|^2 \right. \\
&\cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_1|} \right) \\
&- \left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right| \\
&\cdot \left(|r_{N_{ref}}| - \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right) \left. \right]
\end{aligned}$$

с дополнительными условиями

$$\pi \geq N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{N_{ref}}|}} \right)$$

$$r_{N_{ref}} < r_{\ddot{A}qv}$$

Значение N_{ref} может быть легко определено следующей последовательностью этапов:

На первом этапе рассчитывается правая сторона отношения

$$N_{ref} \leq \frac{\pi}{\arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{\ddot{A}qv}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{\ddot{A}qv}|}} \right)}$$

со значениями трубы, для чего следует проверить, обеспечивается ли этим достижение соответствующих изобретению преимущественных результатов. Поскольку N_{ref} должно представлять натуральное число, принимается натуральное число, которое соответствует расчетному значению, или представляет следующее за расчетным значением меньшее натуральное число. В качестве примера здесь следует принять трубу с $Di=60$ мм, $TT=2,05$ мм, $r_2=8$ мм и $N_T=8$. Тем самым получается для $N_{ref} \leq 19,4967769$. Тем самым авторы настоящего изобретения принимают N_{ref} на первом этапе как 19.

На втором этапе проверяется, может ли с найденным на первом этапе N_{ref} быть найдено значение $r_{N_{ref}}$, при обратном обращении к рассчитанному по формуле (1) эквивалентному диаметру $A_{\ddot{A}qv}$ может исполняться формула (2), без нарушения дополнительного условия

$$\pi \geq N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{N_{ref}}|}} \right)$$

$$r_{N_{ref}} < r_{\ddot{A}qv}$$

Значение $A_{\ddot{A}qv}$ рассчитывается по значениям трубы, для чего следует проверить, обеспечивается ли этим достижение соответствующих изобретению преимущественных результатов, с расчетом по формуле (1). В случае вышеуказанных примерных значений

($D_i=60$ мм, $T_T=2,05$ мм, $r_2=8$ мм и $N_T=8$) величина $A_{\ddot{A}qv}$ получается равной 2963,77397 мм² при указанных примерных значениях. Таким образом, на втором этапе проверяется поиск по N_{ref} , можно ли посредством найденного на первом этапе N_{ref} найти r_{Nref} , что с рассчитанным таким образом $A_{\ddot{A}qv}$ выполняется формула (2), и в то же время удовлетворяются указанные дополнительные условия.

Эта итерация может быть легко выполнена с помощью программы для работы с таблицами, например, программы Microsoft[®] Excel, и предусмотренным в таких программах для работы с таблицами поиском целевых значений. Сначала берется первая пустая ячейка, которая затем при исполнении операции поиска принимается за «переменную ячейку». Эта ячейка заполняется произвольным численным значением, например, $|r_1|$. Тогда во вторую ячейку подставляется вышеуказанное уравнение для $A_{\ddot{A}qv}$, которое выражает $A_{\ddot{A}qv}$ через r_{Nref} , причем для r_{Nref} , на которое ссылается заполненная произвольным численным значением, например, $|r_1|$, первая ячейка, и значение для r_2 принимается из параметров трубы, в отношении которого следует проверить, обеспечивается ли этим достижение соответствующих изобретению преимущественных результатов.

В третью ячейку подставляется уравнение « $=A_{\ddot{A}qv}$ –значение второй ячейки», причем здесь $A_{\ddot{A}qv}$ рассчитывается по формуле (1).

В четвертую ячейку вводится уравнение

$$= \pi - N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{\left| 2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2 \right|}}{|r_{Nref}|}} \right)$$

Причем r_{Nref} ссылается на заполненную произвольным численным значением, например, $|r_1|$, первую ячейку, и значение для r_2 принимается из параметров трубы, в отношении которого следует проверить, обеспечивается ли этим достижение соответствующих изобретению преимущественных результатов. В пятую ячейку вводится оператор «если–то» (If–then–test), который выдает слово «НЕВЕРНО», когда значение в четвертой ячейке является меньшим нуля, и в противном случае слово «ПРАВИЛЬНО».

Тогда посредством подготовленной таким образом рабочей таблицы можно начать предусмотренный в программе для работы с таблицами поиск целевых значений. В поиске целевых значений запрашивается, какая ячейка является целевой. Для этого задается третья ячейка. Кроме того, в поиске целевых значений запрашивается целевое значение. Оно задается как 0 (нуль). Кроме того, в поиске целевых значений запрашивается переменная ячейка. Для этого указывается первая ячейка. Поиск целевых значений приводит к значению в первой ячейке. Если при этом значении содержание пятой ячейки

представляется как «ПРАВИЛЬНО», тогда найденное на первом этапе значение N_{ref} представляет собой применяемое N_{ref} . Если значение пятой ячейки представляется как «НЕВЕРНО», тогда найденное на первом этапе значение N_{ref} сокращается на число 1, и тем самым образует новое значение N_{ref} , с которым вновь проводится второй этап. Как правило, это уже в конце поиска целевых значений дает значение в первой ячейке, которому в пятой ячейке также выводится слово «ПРАВИЛЬНО», так что полученное тем самым новое значение N_{ref} представляет собой используемое значение N_{ref} . В противном случае новое значение N_{ref} повторно сокращается на число 1, и опять выполняется второй этап. Было показано, что даже когда такой поиск целевых значений в программе для работы с таблицами не является совершенным в последних значениях после запятой, это благодаря остальным допускам не оказывает заметного влияния на итоговый параметр.

С найденным таким образом значением N_{ref} могут быть определены для трубы, в отношении которой следует проверить, обеспечивается ли этим достижение соответствующих изобретению преимущественных результатов, значение плотности VD желобков из $VD=100 \cdot N_T / N_{ref}$. С полученными тем самым значениями получается, что

$$\begin{aligned} & P1 \cdot |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\ & = \\ & C1 + C2 \cdot |TT| + C3 \cdot VD + C4 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| \\ & + (|TT| - C5) \cdot (VD - C6) \cdot C7 \\ & + (|TT| - C5) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C9, \end{aligned}$$

или, с учетом дополнительных перекрестных связей, что

$$\begin{aligned} & P1 \cdot |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\ & = \\ & C1 + C2 \cdot |TT| + C3 \cdot VD + C4 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| \\ & + (|TT| - C5) \cdot (VD - C6) \cdot C7 \\ & + (|TT| - C5) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C9 \\ & + (VD - C6) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C10 \\ & + (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C11, \end{aligned}$$

тогда имеется подтверждение того, что труба с этими основанными на расчете четырьмя характеризующими трубу признаками (N_T , Di , r_2 , TT) улучшает рентабельность термического разложения углеводородов в трубчатых печах с нагреваемыми снаружи трубами.

При вышеуказанных примерных значениях ($Di=60$ мм, $TT=2,05$ мм, $r_2=8$ мм и $N_T=8$) на первом этапе получается N_{ref} 19. На втором этапе поиск целевых значений с N_{ref} 19 дает $r_{N_{ref}}$ 29,4509992. Однако в четвертой ячейке получается значение $-0,07096658$, так что в пятой ячейке выводится слово «НЕВЕРНО». Значение N_{ref} сокращается от 19 на число 1 до 18, и вновь проводится второй этап, тем самым приводя к результату поиска целевых значений с N_{ref} 18 к значению $r_{N_{ref}}$ 29,5192908. Однако в четвертой ячейке получается значение 0,10620948, так что в пятой ячейке выводится слово «ПРАВИЛЬНО». При дополнительном испытании трубы $N_{ref}=18$ на принадлежность к изобретению для

расчета плотности VD желобков применялось бы значение $N_{ref}=18$.

Соответствующая изобретению труба пролегает вдоль продольной оси и имеет сформированные в ее внутренней поверхности желобки. Число имеющихся желобков выражается переменной величиной N_T . Желобки пролегают спиралеобразно вокруг продольной оси вдоль внутренней поверхности трубы. В одном предпочтительном варианте исполнения желобки равномерно распределены по окружности трубы. Тем самым подразумевается, что в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси для всех желобков расстояние в окружном направлении между двумя размещенными соседними между собой желобками является одинаковым для всех желобков.

Глубина желобков понимается как расстояние до самой глубокой точки желобка от внутренней поверхности. Тем самым подразумевается кратчайшее расстояние в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси между самой отдаленной точкой желобка, если рассматривать по радиальному направлению (самой глубокой точкой), и окружностью внутренней поверхности вокруг продольной оси, на которой находятся наиболее удаленные внутрь остальные расположенные между желобками участки внутренней поверхности. Предусматриваются варианты осуществления изобретения, в которых внутренняя поверхность трубы имеет цилиндрическую форму, и в этой цилиндрической внутренней поверхности сформированы желобки. Между желобками тогда остаются участки внутренней поверхности, каковые участки образуют внутреннюю поверхность. Окружность внутренней поверхности, на которой находятся наиболее удаленные внутрь участки внутренней поверхности, представляет собой, поскольку в этом варианте осуществления все остальные участки внутренней поверхности размещены одинаково отдаленно внутрь, окружность в поперечном сечении, на которой находятся остальные участки цилиндрической внутренней поверхности.

Но также предусматриваются варианты осуществления, в которых остающаяся между двумя желобками внутренняя поверхность суживается почти в линию, поскольку выбирается очень большое устье желобка (поперечное сечение желобка во внутренней поверхности). В частности, когда при таком варианте осуществления кривизна поверхности желобка изменяется от кривизны вогнутого дна желобка (дна желобка в форме дуги окружности) до кривизны выпуклой поверхности желобка в области устья желобка, подобные варианты осуществления могут действовать так, что находящиеся в окружном направлении на желобках (причем тем самым тогда подразумевалась бы выпукло изогнутая область желобка) между желобками ребра (причем тем самым тогда подразумевалась бы вогнуто изогнутая область желобка) смыкались бы, и ограничивающая желобок стенка (точнее: вогнуто изогнутое дно желобка) переходила бы в наружную поверхность ребер. Окружность внутренней поверхности, на которой соответственно находятся наиболее удаленные внутрь участки внутренней поверхности, при таких вариантах осуществления представляет собой окружность в поперечном сечении, на которой в этом поперечном сечении находятся вершинные точки «ребер». Глубина желобка в найденном согласно изобретению, характеризующем трубу отношении

выражается переменной величиной TT .

В предпочтительном варианте осуществления желобки в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси, по меньшей мере у дна желобка, имеют скругленное поперечное сечение, которое предпочтительно может быть приближенно представлено как дуга окружности, или же может соответствовать дуге окружности. В предпочтительном варианте осуществления, в области устья желобка геометрическая форма поперечного сечения желобка может расширяться, в частности, путем изменения вогнутой геометрии поперечного сечения у дна желобка на выпуклую геометрию поперечного сечения в области устья желобка. В альтернативном варианте осуществления геометрия поперечного сечения всего желобка в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси может быть приближенно представлена как дуга окружности, или же может соответствовать дуге окружности. Равным образом представимы варианты осуществления, в которых желобок в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси имеет геометрию поперечного сечения как часть эллипса. В предпочтительном варианте осуществления форма поперечного сечения желобка для всех поперечных сечений перпендикулярно продольной оси остается одинаковой. В одном особенно предпочтительном варианте осуществления форма и размер поперечного сечения желобка перпендикулярно продольной оси остаются одинаковыми для всех поперечных сечений перпендикулярно продольной оси. В одном предпочтительном варианте осуществления все желобки трубы в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси, предпочтительно во всех поперечных сечениях перпендикулярно продольной оси, имеют одинаковую форму и размер. Если желобки имеют различающиеся размеры и, в особенности, различающиеся глубины желобков, то для соответствующего изобретению, характеризующего трубу отношения применяется глубина TT самого глубокого желобка.

В одном предпочтительном варианте осуществления поперечное сечение трубы перпендикулярно продольной оси является вращательно-симметричным вокруг продольной оси. Под этим подразумевается, что по меньшей мере имеется по меньшей мере один угол между 0° и 360° , при котором поперечное сечение трубы может воспроизводиться само с собой при вращении вокруг продольной оси.

В одном предпочтительном варианте осуществления поперечное сечение трубы перпендикулярно продольной оси является точно-симметричным вокруг точки, которая принимается на продольной оси в этом поперечном сечении.

В одном предпочтительном варианте осуществления поперечное сечение трубы перпендикулярно продольной оси является зеркально-симметричным вокруг находящейся в этом поперечном сечении оси, пролегающей перпендикулярно продольной оси.

Труба в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси имеет внутренний диаметр, который выражается переменной величиной Di . Внутренний диаметр представляет собой диаметр окружности внутренней поверхности, то есть, окружности вокруг продольной оси, на которой находятся размещенные наиболее далеко внутрь остающиеся между желобками участки внутренней поверхности.

В одном предпочтительном варианте осуществления поперечное сечение трубы на внутренней стороне имеет диаметр D_i в диапазоне от 15 мм до 280 мм, в особенности предпочтительно от 15 мм до 180 мм, в особенности предпочтительно от 20 мм до 150 мм, и в особенности предпочтительно от 30 мм до 140 мм.

В одном предпочтительном варианте осуществления глубина ТТ желобка составляет величину в диапазоне от 0,1 мм до 10 мм, в особенности предпочтительно от 1,0 мм до 7 мм, и наиболее предпочтительно от 1,0 мм до 4 мм.

В одном предпочтительном варианте осуществления число N_T желобков составляет величину в диапазоне от 1 до 100, в особенности предпочтительно от 2 до 50, и наиболее предпочтительно от 2 до 30.

В одном предпочтительном варианте осуществления плотность VD желобков составляет величину в диапазоне 1% до 347%, в особенности предпочтительно от 2% до 113%, и наиболее предпочтительно от 10% до 105%.

В одном предпочтительном варианте осуществления желобки пролегают под углом от 20° до 40° , предпочтительно от $22,5^\circ$ до $32,5^\circ$, относительно продольной оси.

В одном предпочтительном варианте осуществления, в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси занимающий находящийся между двумя желобками участок внутренней поверхности сегмент дуги окружности на окружности внутренней поверхности составляет величину, которая является большей, чем 1% занимающего у устья желобка по меньшей мере один из этих участков внутренней ограничивающей желобки поверхности сегмента дуги окружности на окружности внутренней поверхности, в частности, большей, чем 2%, в частности, большей, чем 5%, в частности, большей, чем 10%, в частности, большей, чем 30%, в частности, большей, чем 50%, в частности, большей, чем 70%. В одном предпочтительном варианте осуществления в поперечном сечении занимающий находящийся между двумя желобками участок внутренней поверхности сегмент дуги окружности на окружности внутренней поверхности является равным или бóльшим, чем занимающий у устья желобка по меньшей мере один из этих участков внутренней ограничивающей желобки поверхности сегмент дуги окружности на окружности внутренней поверхности.

Соответствующее изобретению устройство для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, имеет по меньшей мере одну соответствующую изобретению трубу.

В соответствующей изобретению трубе выравнивается неизбежно различный по окружности трубы между светлой и теневой стороной подвод тепла в стенку трубы и внутрь трубы, и при этом тепло быстро подводится к сердцевинной зоне. Этим обуславливается снижение опасности локального перегрева технологического газа на стенке трубы и вызываемое этим образование кокса. Кроме того, благодаря выравниванию температур между светлой и теневой сторонами снижается термическая нагрузка на материал трубы, что приводит к удлинению срока службы. Наконец, в

отношении соответствующей изобретению трубы это обуславливает также выравнивание температуры по поперечному сечению трубы с улучшением в результате этого выхода олефина. Это основывается на том, что без соответствующего изобретению радиального выравнивания температур внутри трубы на горячей стенке трубы это приводило бы к чрезмерному разложению, и в середине трубы к меньшему реакционному превращению.

Соответствующая изобретению труба может быть в зависимости от материала изготовлена, например, из полученной центробежным литьем трубы таким образом, что концы трубы с осепараллельными желобками скручиваются относительно друг друга, или что внутренний профиль создается предварительным формованием полученной центробежным литьем трубы, например, горячей ковкой, горячим волочением или холодным формованием посредством профилирующего инструмента, например, консольной оправки или стержневой оправки с соответствующим внутреннему профилю трубы наружным профилем.

Металлорежущие станки для внутреннего профилирования труб известны в различных вариантах, например, из патентного документа Германии 195 23 280. Эти станки пригодны также для изготовления соответствующей изобретению трубы.

Внутренняя поверхность соответствующей изобретению трубы должна иметь по возможности незначительную шероховатость; поэтому она может быть выглажена, например, механически отполирована или электролитически выровнена.

В качестве материала трубы пригодны для применения в установках для получения этилена железо–хромо–никелевые сплавы с содержанием от 0,1% до 0,5% углерода, от 20% до 35% хрома, от 20% до 70% никеля, до 3% кремния, до 1% ниобия, до 5% вольфрама, а также с добавками гафния, титана, редкоземельных элементов, или циркония, соответственно до 0,5%, и до 6% алюминия.

В частности, для трубы предпочтительно используется железо–хромо–никелевый сплав с высокой устойчивостью к окислению и науглероживанию, усталостной прочностью и с высоким пределом ползучести, из

от 0,05% до 0,6% углерода

от 20% до 50% хрома

от 5% до 40% железа

до 6% алюминия

до 2% кремния

до 2% марганца

до 1,5% ниобия

до 1,5% тантала

до 6,0% вольфрама

до 1,0% титана

до 1,0% циркония

до 0,5% иттрия

до 0,5% церия

до 0,5% молибдена

до 0,1% азота, причем остальное количество составляет никель, в том числе привнесенные в процессе выплавки примеси.

Нижеследующая таблица показывает возможные варианты осуществления изобретения, которые соответствуют предлагаемому согласно изобретению отношению. При этом в одной строке для выбранного внутреннего диаметра D_{Aqv} приводится пара значений N_{TMax} и TT_{min} и VD_{max} для хорошей, но в соотношении со второй парой значений N_{TMin} и TT_{Max} и VD_{min} более низкой теплопередачей. Дополнительно таблица показывает оцененную посредством моделирующей программы теплопередачу ($H_{min}(D_{Aqv}, TT_{min}, VD_{max})$ [Ватт]) для меньшей теплопередачи; $H_{Max}(D_{Aqv}, TT_{max}, VD_{min})$ [Ватт]) для еще дополнительно улучшенной теплопередачи).

№	D_{Aqv}	N_{Tmax}	VD_{max}	TT_{min}	$H_{min}(D_{Aqv}, TT_{min}, VD_{max})$ [Ватт]
1	35	9	100	1,3	10831,95559
2	40	11	100	1,3	12288,96106
3	45	12	100	1,3	13732,69121
4	50	14	100	1,3	15163,14603
5	55	16	100	1,3	16580,32553
6	60	18	100	1,3	17984,2297
7	65	20	100	1,3	19374,85855
8	70	21	100	1,3	20752,21208
9	75	23	100	1,3	22116,29028
10	80	25	100	1,3	23467,09315
11	85	27	100	1,3	24804,62071
12	90	29	100	1,3	26128,87294
13	95	30	100	1,3	27439,84984
14	100	32	100	1,3	28737,55142
15	105	34	100	1,3	30021,97768
16	110	36	100	1,3	31293,12861
17	115	38	100	1,3	32551,00422
18	120	39	100	1,3	33795,6045
19	125	41	100	1,3	35026,92946
20	130	43	100	1,3	36244,9791
21	135	45	100	1,3	37449,75341
22	140	47	100	1,3	38641,25239
23	160	54	100	1,3	43274,4951
24	180	61	100	1,3	47695,33262

25	200	68	100	1,3	51903,76496
26	280	97	100	1,3	66613,44243

№	$D_{\text{Äqv}}$	NT_{min}	VD_{min}	TT_{max}	$H_{\text{max}}(D_{\text{Äqv}}, TT_{\text{max}}, VD_{\text{min}})$ [Вт]
27	35	3	33,33333333	2,7	11564,65262
28	40	3	27,27272727	2,7	13032,35209
29	45	3	25	2,7	14463,96054
30	50	3	21,42857143	2,7	15887,80079
31	55	3	18,75	2,7	17292,40888
32	60	3	16,66666667	2,7	18679,77042
33	65	3	15	2,7	20051,07678
34	70	3	14,28571429	2,7	21404,40771
35	75	3	13,04347826	2,7	22746,18795
36	80	3	12	2,7	24073,38983
37	85	3	11,11111111	2,7	25386,30292
38	90	3	10,34482759	2,7	26685,1369
39	95	3	10	2,7	27969,09023
40	100	3	9,375	2,7	29240,37497
41	105	3	8,823529412	2,7	30497,91084
42	110	3	8,333333333	2,7	31741,77677
43	115	3	7,894736842	2,7	32972,03508
44	120	3	7,692307692	2,7	34188,38764
45	125	3	7,317073171	2,7	35391,6438
46	130	3	6,976744186	2,7	36581,40387
47	135	3	6,666666667	2,7	37757,6973
48	140	3	6,382978723	2,7	38920,54851
49	160	3	5,555555556	2,7	43437,89962
50	180	3	4,918032787	2,7	47741,49693
51	200	3	4,411764706	2,7	51831,75693
52	280	3	3,092783505	2,7	66063,32146

Было выяснено, что ожидаемая теплопередача как для хорошей, но в соотношении с дополнительно оптимизированной несколько меньшей теплопередачей ($H_{\text{min}}(D_{\text{Äqv}}, TT_{\text{min}}, VD_{\text{Max}})$ [Вт]), так и для дополнительно оптимизированным значением $H_{\text{Max}}(D_{\text{Äqv}}, TT_{\text{max}}, VD_{\text{min}})$ [Вт]), может происходить прямо пропорционально внутреннему диаметру, как показано на Фиг. 4. Нижеследующая таблица показывает значения различных переменных

величин применяемых согласно изобретению отношений для отдельной трубы. Донные части желобков в форме дуги окружности имели радиус r_2 8 мм.

№	$A_{\text{Äqv}}$	A_1	A_T	r_1	b_1	b_2	s	h
1	962,113	870,691	10,158	16,648	11,365	12,331	11,146	0,961
2	1256,637	1149,789	9,713	19,131	10,883	11,77	10,737	0,769
3	1590,431	1477,643	9,399	21,688	10,543	11,374	10,44	0,638
4	1963,495	1835,026	9,176	24,168	10,303	11,093	10,226	0,547
5	2375,829	2231,74	9,006	26,653	10,12	10,878	10,059	0,479
6	2827,433	2667,765	8,87	29,141	9,975	10,708	9,927	0,426
7	3318,307	3143,09	8,761	31,63	9,858	10,57	9,818	0,383
8	3848,451	3666,405	8,669	34,162	9,76	10,455	9,727	0,348
9	4417,865	4220,229	8,593	36,652	9,679	10,359	9,65	0,319
10	5026,548	4813,348	8,528	39,143	9,609	10,278	9,585	0,295
11	5674,502	5445,756	8,472	41,635	9,55	10,207	9,529	0,274
12	6361,725	6117,451	8,423	44,128	9,498	10,146	9,48	0,255
13	7088,218	6836,823	8,38	46,65	9,452	10,092	9,436	0,239
14	7853,982	7587,043	8,342	49,143	9,411	10,044	9,397	0,225
15	8659,015	8376,545	8,308	51,637	9,375	10,001	9,362	0,213
16	9503,318	9205,329	8,277	54,131	9,343	9,963	9,331	0,201
17	10386,891	10073,393	8,25	56,626	9,314	9,928	9,303	0,191
18	11309,734	10988,968	8,225	59,143	9,287	9,897	9,278	0,182
19	12271,846	11935,564	8,202	61,638	9,263	9,868	9,254	0,174
20	13273,229	12921,438	8,181	64,133	9,241	9,842	9,233	0,166
21	14313,882	13946,589	8,162	66,628	9,221	9,818	9,213	0,159
22	15393,804	15011,017	8,144	69,124	9,202	9,796	9,195	0,153
23	20106,193	19669,568	8,086	79,127	9,14	9,722	9,135	0,132
24	25446,9	24956,406	8,041	89,128	9,092	9,666	9,088	0,116
25	31415,927	30871,542	8,006	99,13	9,055	9,621	9,052	0,103
26	61575,216	60807,235	7,917	139,124	8,962	9,511	8,96	0,072
27	962,113	877,692	28,14	16,715	14,619	17,379	14,158	1,573
28	1256,637	1175,212	27,142	19,341	14,145	16,706	13,832	1,279
29	1590,431	1511,08	26,45	21,932	13,82	16,241	13,592	1,08
30	1963,495	1885,673	25,941	24,5	13,582	15,899	13,409	0,935
31	2375,829	2299,186	25,548	27,053	13,4	15,636	13,263	0,825

32	2827,433	2751,727	25,236	29,596	13,255	15,426	13,145	0,739
33	3318,307	3243,365	24,981	32,131	13,138	15,256	13,047	0,669
34	3848,451	3774,144	24,769	34,66	13,041	15,114	12,964	0,612
35	4417,865	4344,095	24,59	37,186	12,959	14,994	12,894	0,563
36	5026,548	4953,239	24,437	39,707	12,889	14,891	12,833	0,522
37	5674,502	5601,591	24,304	42,226	12,829	14,802	12,779	0,486
38	6361,725	6289,163	24,187	44,743	12,776	14,724	12,732	0,455
39	7088,218	7015,965	24,085	47,257	12,729	14,656	12,691	0,428
40	7853,982	7782,002	23,993	49,77	12,688	14,595	12,653	0,404
41	8659,015	8587,28	23,912	52,282	12,651	14,54	12,62	0,382
42	9503,318	9431,804	23,838	54,793	12,617	14,491	12,589	0,363
43	10386,891	10315,577	23,771	57,302	12,587	14,446	12,562	0,345
44	11309,734	11238,601	23,711	59,811	12,56	14,406	12,537	0,329
45	12271,846	12200,88	23,656	62,319	12,535	14,369	12,514	0,315
46	13273,229	13202,415	23,605	64,826	12,512	14,335	12,493	0,302
47	14313,882	14243,208	23,558	67,333	12,491	14,304	12,473	0,289
48	15393,804	15323,26	23,515	69,839	12,472	14,275	12,455	0,278
49	20106,193	20036,081	23,371	79,86	12,407	14,178	12,394	0,241
50	25446,9	25377,119	23,26	89,877	12,357	14,105	12,347	0,212
51	31415,927	31346,407	23,173	99,889	12,318	14,046	12,31	0,19
52	61575,216	61506,358	22,953	139,922	12,22	13,899	12,216	0,133

При использованном для оценки значений ($H_{\min}(D_{\text{Äqv}}, TT_{\min}, VD_{\text{Max}})$ [Ватт]) и $H_{\text{Max}}(D_{\text{Äqv}}, TT_{\text{max}}, VD_{\min})$ [Ватт]) CFD–анализа (Вычислительный гидродинамический анализ) применялись следующие условия моделирования.

Краевые условия для моделирования теплопередачи:

температура камеры для наружного нагрева трубы: 1300°C

излучательная способность ϵ трубы: 0,85

учет светлой/теневого сторон (светлая сторона: 80% излучения, 20% конвекции; теневая сторона: 20% излучения, 80% конвекции), а также физических свойств материала – плотности, удельной теплоемкости и теплопроводности, в зависимости от температуры

модельная длина: 2 м

Таблица 1: состояние вводимой смеси на входе в трубу

Параметр	Значение
Температура, °C	621
Давление, бар (МПа)	2 (0,2)

Удельный массопоток относительно площади, г/(сек·м ²)	52912,8
---	---------

Таблица 2: физические свойства обрабатываемой смеси

Температура, °C	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость кДж/кгК	Динамическая вязкость кг/м·сек	Теплопроводность Вт/мК
620	0,87467615	2,81553015	2,941481E-05	0,08947538
630	0,86669998	2,82698110	2,974235E-05	0,09122076
640	0,85872380	2,83843205	3,006989E-05	0,09296613
650	0,85074763	2,84988300	3,039743E-05	0,09471151
660	0,84277145	2,86133395	3,072497E-05	0,09645688
670	0,83479528	2,87278490	3,105251E-05	0,09820226
680	0,82681910	2,88423585	3,138005E-05	0,09994763
690	0,81884293	2,89568680	3,170759E-05	0,10169301
700	0,81086675	2,90713775	3,203513E-05	0,10343838
710	0,80289058	2,91858870	3,236268E-05	0,10518376
720	0,79491440	2,93003965	3,269022E-05	0,10692913
730	0,78693823	2,94149060	3,301776E-05	0,10867451
740	0,77896205	2,95294155	3,334530E-05	0,11041988
750	0,77098588	2,96439250	3,367284E-05	0,11216526
760	0,76300970	2,97584345	3,400038E-05	0,11391063
770	0,75503353	2,98729440	3,432792E-05	0,11565601
780	0,74705735	2,99874535	3,465546E-05	0,11740138
790	0,73908118	3,01019630	3,498300E-05	0,11914676
800	0,73110500	3,02164725	3,531055E-05	0,12089213
810	0,72312883	3,03309820	3,563809E-05	0,12263751
820	0,71515265	3,04454915	3,596563E-05	0,12438288
830	0,70717648	3,05600010	3,629317E-05	0,12612826
840	0,69920030	3,06745105	3,662071E-05	0,12787363
850	0,69122413	3,07890200	3,694825E-05	0,12961901

Соответствующая изобретению труба предпочтительно применяется для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы.

Далее изобретение более подробно разъясняется посредством представляющего только варианты осуществления изобретения чертежа. На нем показано:

Фиг. 1 вид соответствующей изобретению трубы в перспективе,

Фиг. 2 первое возможное поперечное сечение соответствующей изобретению трубы в плоскости сечения перпендикулярно продольной оси трубы,

Фиг. 3 второе возможное поперечное сечение соответствующей изобретению трубы в плоскости сечения перпендикулярно продольной оси трубы,

Фиг. 4 диаграмма, которая изображает пары приводящих к хорошим результатам чисел N_T желобков и глубин TT желобков, и пары приводящих к дополнительно улучшенным результатам чисел N_T желобков и глубин TT желобков, которая представляет зависимость достигаемой посредством этой пары теплопередачи от внутреннего диаметра, и

Фиг. 5 представляет вид в разрезе соответствующей изобретению трубы с желобком.

Представленная на Фиг. 1 соответствующая изобретению труба 1 является протяженной вдоль продольной оси А и имеет нанесенные в количестве 3 на внутреннюю поверхность, пролегающие спиралеобразно вокруг продольной оси А вдоль внутренней поверхности желобки 2.

В представленном на Фиг. 2 поперечном сечении соответствующей изобретению трубы 1 можно видеть, что согласно одному предпочтительному варианту осуществления желобки 2 сформированы на выполненной в остальном цилиндрической внутренней поверхности трубы 1. Между желобками 2 тем самым остаются участки выполненной с цилиндрической формой внутренней поверхности трубы 1.

На Фиг. 2 отмечены глубина TT желобков и диаметр D_i и окружность 3 внутренней поверхности.

На Фиг. 2 также показано, что поперечное сечение желобков 2 может быть представлено дугой окружности.

В показанном на Фиг. 3 поперечном сечении соответствующей изобретению трубы 1 можно видеть, что согласно альтернативному варианту осуществления желобки, выполненные вогнутыми в дне 4 желобка, по направлению к устью 5 желобка могут переходить в выпуклую форму, и что оставшийся между двумя желобками 2 участок внутренней поверхности сужается почти в линию. На Фиг. 3 отмечены глубина TT желобков и диаметр D_i и окружность 3 внутренней поверхности.

Фиг. 4 показывает приведенные в таблице значения ($H_{\min}(D_{\ddot{A}qv}, TT_{\min}, VD_{\max})$ [Ватт]) и $H_{\max}(D_{\ddot{A}qv}, TT_{\max}, VD_{\min})$ [Ватт]) в зависимости от эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$. Можно видеть, что эти значения соответственно могут быть представлены одной линией.

Фиг. 5 и отдельно выделенный на Фиг. 5 фрагмент Y воспроизводят на примере соответствующей изобретению трубы с желобком применяемую в пунктах формулы изобретения и в описании номенклатуру с сокращениями A_1 , r_1 , TT , h , b_2 , b_1 , A_T , r_2 и s .

Как могут быть найдены четыре характеризующих трубу значения N_T , D_i , r_2 и TT , может быть показано в нижеследующих примерах.

В одном примере ставится внешнее требование, что площадь проточного сечения должна соответствовать гладкой трубе с диаметром 60 мм. Кроме того, вследствие

применяемых для изготовления трубы инструментов в производственном плане возникает такое ограничение, что при имеющих в поперечном сечении форму дуги окружности желобках должна выбираться глубина ТТ желобков 1,3 мм, и радиус r_2 дна желобка в форме дуги окружности 8 мм. Встает вопрос, может ли при таком диаметре D_i и с таким числом желобков быть улучшена рентабельность термического разложения углеводородов в трубчатых печах с нагреваемыми снаружи трубами.

Тем самым исходным пунктом является:

$$D_{\ddot{A}qv} = 60 \text{ мм}$$

$$A_{\ddot{A}qv} = \pi(60/2)^2 = 2827,43 \text{ мм}^2$$

$$TT = 1,3 \text{ мм}$$

$$r_2 = 8 \text{ мм}$$

$$\text{Из } A_{\ddot{A}qv} \text{ непосредственно следует } r_{\ddot{A}qv} = D_{\ddot{A}qv}/2 = 30 \text{ мм}$$

Из r_2 , $r_{\ddot{A}qv}$ получается для определения N_{ref} на первом этапе с формулой

$$N_{ref} \leq \frac{\pi}{\arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{\ddot{A}qv}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{\ddot{A}qv}|}} \right)}$$

первое значение N_{ref} , равное 18. С этим N_{ref} 18 из вышеописанного поиска целевых значений получается $r_{N_{ref}}$ 29,1406241, с которым в то же время выполняется дополнительное условие

$$\pi \geq N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{N_{ref}}|}} \right),$$

$$r_{N_{ref}} < r_{\ddot{A}qv}$$

Тем самым в качестве N_{ref} должно применяться число 18.

$$\text{С } N_{ref}=18 \text{ получается } VD = N_T/18 \cdot 100.$$

Применением минимальных значений для P1, P2 и P3 для левого члена уравнения получается

$$\begin{aligned} & P1 \cdot |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\ & = \\ & C1 + C2 \cdot |TT| + C3 \cdot VD + C4 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| \\ & + (|TT| - C5) \cdot (VD - C6) \cdot C7 \\ & + (|TT| - C5) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C9 \end{aligned}$$

$$+(VD-C6)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C10$$

$$+(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C11$$

с константами

$$C1=1946,066$$

$$C2=302,378$$

$$C3=-2,178$$

$$C4=266,002$$

$$C5=1,954$$

$$C6=50,495$$

$$C7=-2,004$$

$$C8=79,732$$

$$C9=-1,041$$

$$C10=0,04631$$

$$C11=-0,26550$$

$$-0,2 \geq P1 \geq -0,3$$

$$310 \leq P2 \leq 315$$

$$200 \leq P3 \leq 1500$$

значение

$$P1*ID_{\ddot{A}qv}^2+P2*ID_{\ddot{A}qv}+P3=-0,3*(60)^2+310*60+200=17,720,$$

и с использованием максимальных значений для P1, P2 и P3 для левого члена уравнения получается

$$P1*ID_{\ddot{A}qv}^2+P2*ID_{\ddot{A}qv}+P3=-0,2*(60)^2+315*60+1500=19,680$$

Для правого члена уравнения

$$C1+C2*|TT|+C3*VD+C4*ID_{\ddot{A}qv}$$

$$+(|TT|-C5)*(VD-C6)*C7$$

$$+(|TT|-C5)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C9$$

$$+(VD-C6)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C10$$

$$+(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*(ID_{\ddot{A}qv}-C8)*C11$$

получается при подстановке $|TT|=1,3$ и $ID_{\ddot{A}qv}=60$

$$1946,066+302,378*1,3+-2,178*VD+266,002*60$$

$$+(1,3-1,954)*(VD-50,495)*-2,004$$

$$+(1,3-1,954)*(60-79,732)*-1,041$$

$$+(VD-50,495)*(60-79,732)*0,04631$$

$$+(60-79,732)*(60-79,732)*-0,26550,$$

тогда:

$$18162,4329-1,7812VD$$

и с $VD=N_T/N_{ref}*100=N_T/18*100=5,5556N_T$ получается

$$18162,4329-9,8954N_T$$

Чтобы гарантировать, что труба обеспечивает соответствующие изобретению преимущества, значение N_T должно выбираться так, чтобы выполнялось отношение

$$19,680 \geq 18162,4329 - 9,8954N_T$$

и отношение

$$18162,4329 - 9,8954N_T \geq 17,720.$$

Оба отношения выполнялись бы при $1 \leq N_T \leq 44,71$.

Поскольку найденное таким образом значение N_T является бóльшим, чем получается рассчитанная до сих пор величина N_{ref} , то даже при нанесении максимально возможного числа желобков ($N_{\text{ref}}=18$) с такой глубиной выемки всегда еще может достигаться соответствующее изобретению преимущество. Тем самым пользователь в этом примере исполнения может свободно оснащать трубу максимально возможным числом желобков без утраты преимуществ изобретения.

С найденным таким образом значением N_T можно итеративно определить радиус r_1 трубы, и тем самым внутренний диаметр D_i ($=2r_1$) трубы по формуле (1), так как $A_{\ddot{A}qv}=2827,43 \text{ мм}^2$.

Таким образом, могут быть определены все необходимые параметры для изготовления трубы, которая обеспечивает преимущества изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Труба для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, причем

– труба (1) простирается вдоль продольной оси (А), и имеет число N_T желобков (2), сформированных во внутренней поверхности трубы (1), спиралеобразно проходящих вокруг продольной оси (А) вдоль внутренней поверхности,

– внутренняя поверхность, в которой были сформированы желобки (2), в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) имеет диаметр D_i и радиус $r_1 = D_i/2$,

– желобки (2) в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) в своем дне (4) желобков соответственно имеют форму дуги окружности, и дуга окружности имеет радиус r_2 ,

желобки (2) соответственно имеют глубину ТТ желобков, которая соответствует кратчайшему расстоянию в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) между окружностью с диаметром D_i , в которой находится внутренняя поверхность, и ее срединная точка находится на продольной оси (А), и самой отдаленной от продольной оси (А) точкой дна (4) желобка (2), **отличающаяся тем,**

что численное значение $|D_{\ddot{A}qv}|$ эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$ и число N_T желобков (2) и численное значение $|ТТ|$ измеренной в мм глубины ТТ желобков (2) удовлетворяют отношению

$$\begin{aligned} & P1 * |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 * |D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\ & = \\ & C1 + C2 * |ТТ| + C3 * VD + C4 * |D_{\ddot{A}qv}| \\ & + (|ТТ| - C5) * (VD - C6) * C7 \\ & + (|ТТ| - C5) * (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) * C9 \end{aligned}$$

с константами

$$C1 = 1946,066$$

$$C2 = 302,378$$

$$C3 = -2,178$$

$$C4 = 266,002$$

$$C5 = 1,954$$

$$C6 = 50,495$$

$$C7 = -2,004$$

$$C8 = 79,732$$

$$C9 = -1,041$$

$$-0,2 \geq P1 \geq -0,3$$

$$310 \leq P2 \leq 315$$

$$200 \leq P3 \leq 1500,$$

причем плотность VD желобков, которая описывает отношение желобков N_T трубы по отношению к контрольному числу N_{ref} максимально возможных наносимых на

внутреннюю поверхность трубы с равным эквивалентным диаметром $D_{\ddot{A}qv}$ желобков с глубиной желобков $TT=1,3$ мм в процентах, получается из следующего отношения:

$$VD = N_T / N_{ref} \cdot 100$$

и контрольное число N_{ref} представляет наибольшее натуральное число, которое удовлетворяет отношению

$$N_{ref} \leq \frac{\pi}{\arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_2| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{\ddot{A}qv}|}} \right)}$$

причем

$$|r_{\ddot{A}qv}| = \left| \sqrt{\frac{|A_{\ddot{A}qv}|}{\pi}} \right|$$

$$A_{\ddot{A}qv} = A_1 + N_T \cdot A_T$$

$$A_1 = \pi \cdot |r_1|^2$$

$$A_T = \left[|r_2| \cdot \frac{b_2}{2} - \frac{s \cdot (|r_2| - (|TT| + h))}{2} \right] - \left[|r_1| \cdot \frac{b_1}{2} - \frac{s \cdot (|r_1| - h)}{2} \right]$$

$$b_1 = 2 \cdot |r_1| \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2}}{|r_1|}} \right)$$

$$b_2 = 2 \cdot |r_2| \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2}}{|r_2|}} \right)$$

$$s = 2 \cdot \left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|$$

$$h = \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)}$$

и для которого имеется значение Γ_{Nref} , и причем при обратном обращении к рассчитанному по вышеуказанному значению для $A_{\ddot{A}qv}$ выполняется следующее

отношение, согласно чему $A_{\dot{A}qv}$ также

$$\begin{aligned}
 & A_{\dot{A}qv} \\
 &= \pi \cdot |r_{Nref}|^2 + N_{ref} \\
 & \cdot \left[\left[\begin{aligned} & |r_2|^2 \\ & \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_2|} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. - \left| \sqrt{2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right| \right. \right. \\ & \left. \left. \cdot \left(|r_2| - \left(1,3 + \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right) \right) \right) \right] \\ & - \left[|r_{Nref}|^2 \right. \\ & \left. \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_1|} \right) \right]
 \end{aligned}
 \right]
 \end{aligned}$$

$$- \left| \sqrt{2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|$$

$$\cdot \left(|r_{Nref}| - \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right) \Bigg|$$

без нарушения дополнительных условий

$$\pi \geq N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{Nref}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{Nref}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{Nref}|} \right),$$

$$r_{Nref} < r_{\ddot{A}qv}$$

и причем эквивалентный диаметр $D_{\ddot{A}qv}$ получается из отношения $D_{\ddot{A}qv} = 2r_{\ddot{A}qv}$.

2. Труба для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, причем

– труба (1) простирается вдоль продольной оси (А), и имеет число N_T желобков (2), сформированных во внутренней поверхности трубы (1), спиралеобразно проходящих вокруг продольной оси (А) вдоль внутренней поверхности,

– внутренняя поверхность, в которой были сформированы желобки (2), в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) имеет диаметр D_i и радиус $r_1 = D_i/2$,

– желобки (2) в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) в своем дне (4) желобков соответственно имеют форму дуги окружности, и дуга окружности имеет радиус r_2 ,

желобки (2) соответственно имеют глубину TT желобков, которая, соответствует кратчайшему расстоянию в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси (А) между окружностью с диаметром D_i , в которой находится внутренняя поверхность, и ее срединная точка находится на продольной оси (А), и самой отдаленной от продольной оси (А) точкой дна (4) желобка (2), **отличающаяся тем,**

что численное значение $|D_{\ddot{A}qv}|$ эквивалентного диаметра $D_{\ddot{A}qv}$ и число N_T желобков (2) и численное значение $|TT|$ измеренной в мм глубины TT желобков (2) удовлетворяют отношению

$$\begin{aligned}
& P1 \cdot |D_{\ddot{A}qv}|^2 + P2 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| + P3 \\
& = \\
& C1 + C2 \cdot |TT| + C3 \cdot VD + C4 \cdot |D_{\ddot{A}qv}| \\
& + (|TT| - C5) \cdot (VD - C6) \cdot C7 \\
& + (|TT| - C5) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C9 \\
& + (VD - C6) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C10 \\
& + (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot (|D_{\ddot{A}qv}| - C8) \cdot C11
\end{aligned}$$

с константами

$$C1 = 1946,066$$

$$C2 = 302,378$$

$$C3 = -2,178$$

$$C4 = 266,002$$

$$C5 = 1,954$$

$$C6 = 50,495$$

$$C7 = -2,004$$

$$C8 = 79,732$$

$$C9 = -1,041$$

$$C10 = 0,04631$$

$$C11 = -0,26550$$

$$-0,2 \geq P1 \geq -0,3$$

$$310 \leq P2 \leq 315$$

$$200 \leq P3 \leq 1500,$$

причем плотность VD желобков, которая описывает отношение желобков N_T трубы в отношении к контрольному числу N_{ref} максимально возможных наносимых на внутреннюю поверхность трубы с равным эквивалентным диаметром $D_{\ddot{A}qv}$ желобков с глубиной желобков $TT = 1,3$ мм в процентах, получается из следующего отношения:

$$VD = N_T / N_{ref} \cdot 100$$

и контрольное число N_{ref} представляет наибольшее натуральное число, которое удовлетворяет отношению

$$N_{ref} \leq \frac{\pi}{\arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2} \cdot \frac{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{\ddot{A}qv}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{\ddot{A}qv}|} \right)}$$

причем

$$|r_{\ddot{A}qv}| = \sqrt{\frac{|A_{\ddot{A}qv}|}{\pi}}$$

$$A_{\ddot{A}qv} = A_1 + N_T \cdot A_T$$

$$A_1 = \pi \cdot |r_1|^2$$

$$A_T = \left[|r_2| \cdot \frac{b_2}{2} - \frac{s \cdot (|r_2| - (|TT| + h))}{2} \right] - \left[|r_1| \cdot \frac{b_1}{2} - \frac{s \cdot (|r_1| - h)}{2} \right]$$

$$b_1 = 2 \cdot |r_1| \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|}{|r_1|} \right)$$

$$b_2 = 2 \cdot |r_2| \cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|}{|r_2|} \right)$$

$$s = 2 \cdot \left| \sqrt{2 \cdot |r_1| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)} \right)^2} \right|$$

$$h = \frac{2 \cdot |r_2| \cdot |TT| - |TT|^2}{2 \cdot (|r_1| - |r_2| + |TT|)}$$

и для которого имеется значение r_{Nref} , и причем при обратном обращении к рассчитанному по вышеуказанному значению для $A_{\ddot{A}qV}$ выполняется следующее отношение, согласно чему $A_{\ddot{A}qV}$ также

$$\begin{aligned}
& A_{\tilde{\lambda}qv} \\
&= \pi \cdot |r_{N_{ref}}|^2 + N_{ref} \\
&\cdot \left[\left[|r_2|^2 \right. \right. \\
&\cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_2|} \right) \\
&- \left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right| \\
&\cdot \left(|r_2| - \left(1,3 + \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right) \right) \left. \right] \\
&- \left[|r_{N_{ref}}|^2 \right. \\
&\cdot \arcsin \left(\frac{\left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right|}{|r_1|} \right) \\
&- \left| \sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2} \right| \\
&\cdot \left(|r_{N_{ref}}| - \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right) \left. \right] \Bigg]
\end{aligned}$$

без нарушения дополнительных условий

$$\pi \geq N_{ref} \cdot \arcsin \left(\frac{\sqrt{2 \cdot |r_{N_{ref}}| \cdot \frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} - \left(\frac{2 \cdot |r_2| \cdot 1,3 - 1,3^2}{2 \cdot (|r_{N_{ref}}| - |r_2| + 1,3)} \right)^2}}{|r_{N_{ref}}|}} \right),$$

$$r_{N_{ref}} < r_{Äqv}$$

и причем эквивалентный диаметр $D_{Äqv}$ получается из отношения $D_{Äqv} = 2r_{Äqv}$.

3. Труба по п 1 или 2, **отличающаяся тем**, что внутренняя поверхность трубы имеет цилиндрическую форму, и в этой внутренней поверхности с цилиндрической формой сформированы желобки так, что между желобками остаются участки внутренней поверхности, которые образуют участки цилиндра.

4. Труба по одному из п.п 1–3, **отличающаяся тем**, что в поперечном сечении перпендикулярно продольной оси занимающий находящийся между двумя желобками участок внутренней поверхности сегмент дуги окружности на окружности внутренней поверхности составляет величину, которая является большей, чем 1% занимающего у устья желобка по меньшей мере один из этих участков внутренней ограничивающей желобки поверхности сегмента дуги окружности на окружности внутренней поверхности.

5. Труба по одному из п.п 1–4, **отличающаяся тем**, что диаметр D_i внутренней поверхности, в которой были сформированы желобки (2), находится в диапазоне от 15 мм до 280 мм.

6. Труба по одному из п.п 1–5, **отличающаяся тем**, что глубина ТТ желобков находится в диапазоне от 0,1 мм до 10 мм.

7. Труба по одному из п.п 1–6, **отличающаяся тем**, что число N_T желобков (2) обуславливает плотность желобков, которая находится в диапазоне от 1% до 347%.

8. Труба по одному из п.п 1–7, **отличающаяся тем**, что желобки (2) проходят под углом от 20° до 40°, предпочтительно от 22,5° до 32,5°, относительно продольной оси (А).

9. Труба по одному из п.п 1–8, **отличающаяся тем**, что труба представляет собой полученную центробежным литьем трубу или изготовлена из полученной центробежным литьем трубы нанесением желобков в полученной центробежным литьем трубе.

10. Труба по одному из п.п 1–9, **отличающаяся тем**, что труба содержит железо–хром–никелевый сплав с высокой устойчивостью к окислению и науглероживанию, усталостной прочностью и с высоким пределом ползучести, из

от 0,05% до 0,6% углерода

от 20% до 50% хрома

от 5% до 40% железа

от 2% до 6% алюминия

до 2% кремния

до 2% марганца

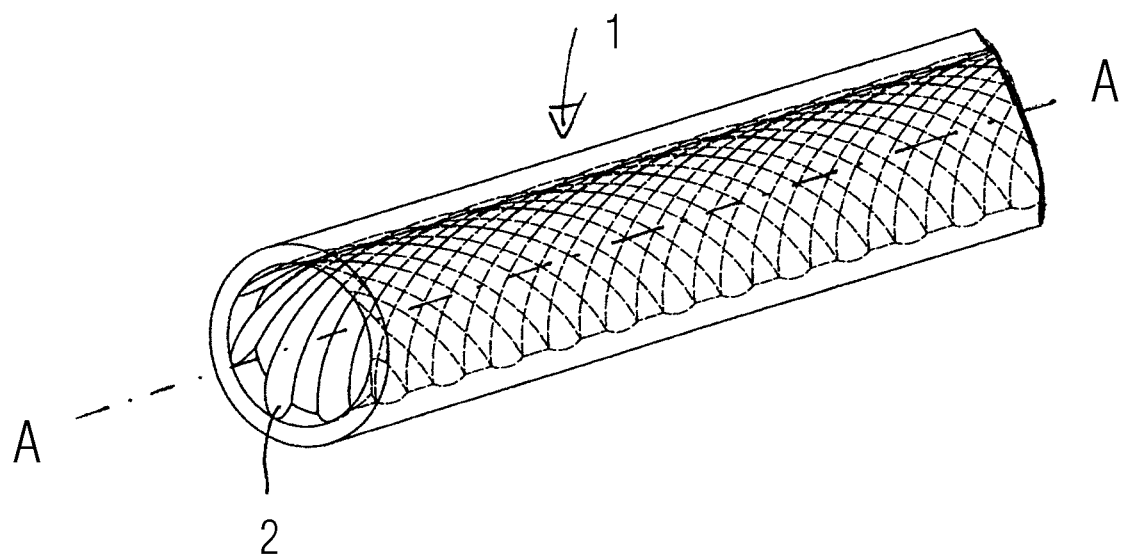
до 1,5% ниобия
до 1,5% тантала
до 6,0% вольфрама
до 1,0% титана
до 1,0% циркония
до 0,5% иттрия
до 0,5% церия
до 0,5% молибдена
до 0,1% азота,

остальное никель и обусловленные процессом выплавки примеси, в частности, состоит из такого сплава.

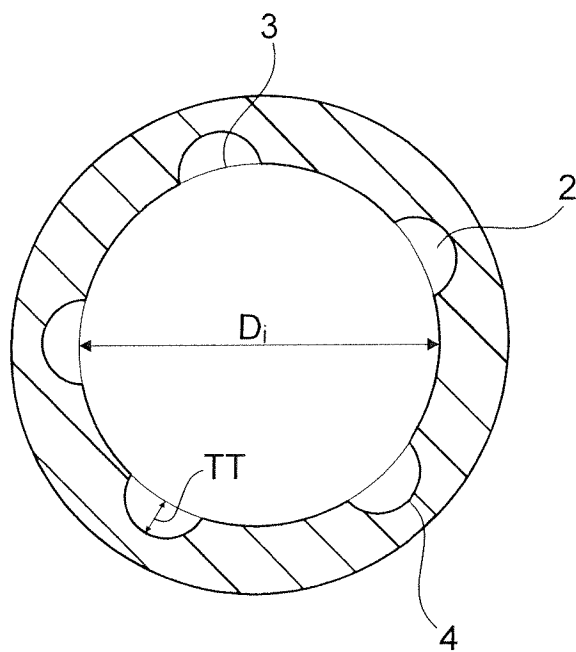
11. Устройство для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы, **отличающаяся** трубой по одному из п.п. 1–10.

12. Применение трубы по одному из п.п. 1–10 для термического разложения углеводородов в присутствии пара, при котором обрабатываемая смесь пропускается через нагреваемые снаружи трубы.

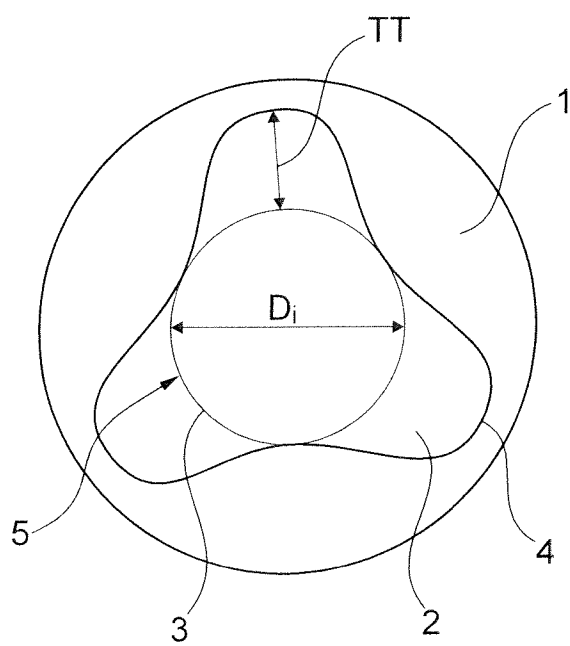
По доверенности



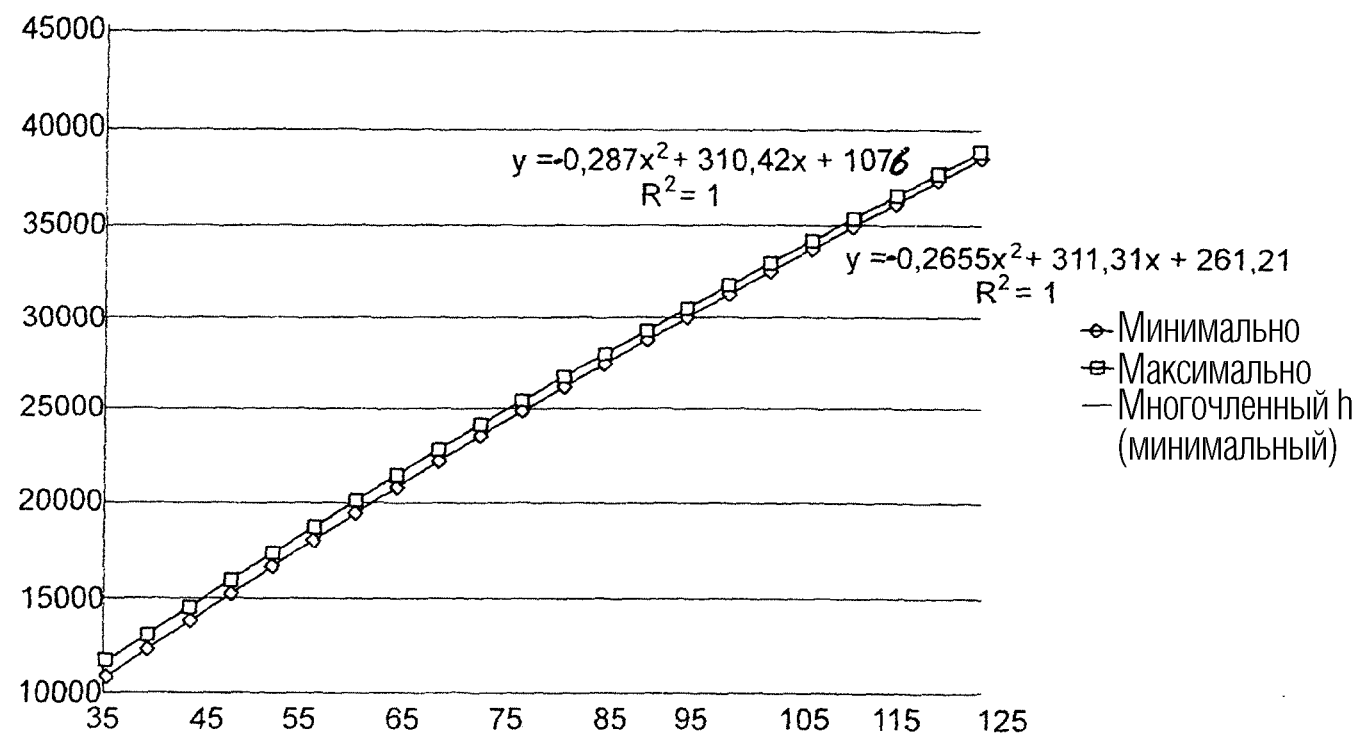
ФИГ. 1



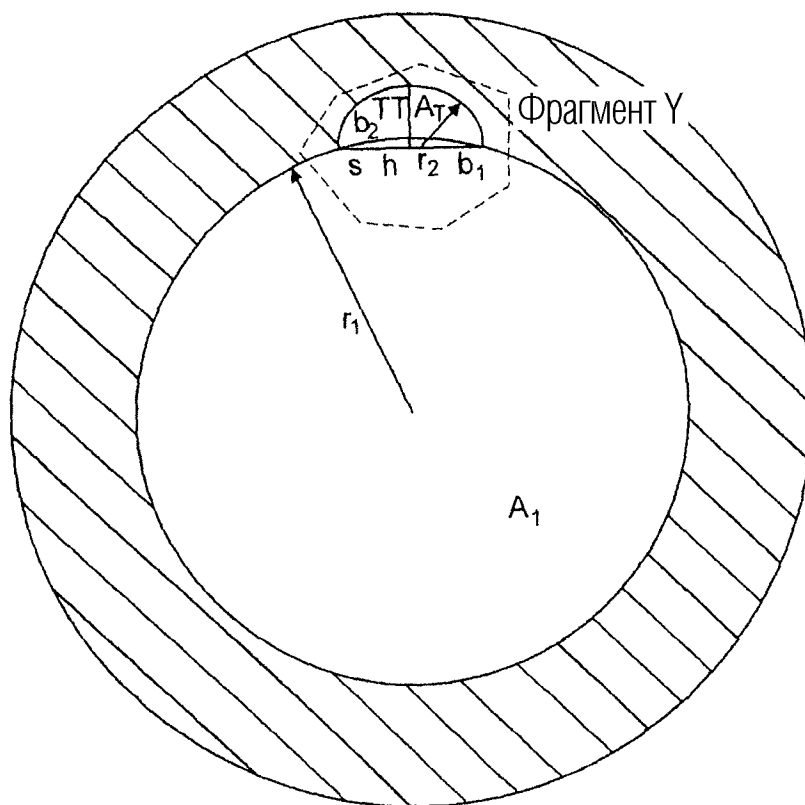
ФИГ. 2



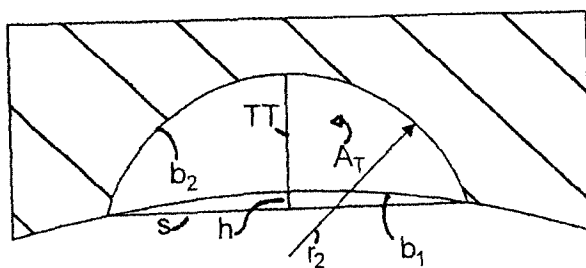
ФИГ. 3



ФИГ. 4



Фрагмент Y



ФИГ. 5