



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2000114217/04, 06.06.2000

(24) Дата начала действия патента: 06.06.2000

(46) Опубликовано: 27.01.2001

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2057745 C1, 10.04.1996. GB 2196335 A, 27.04.1988. RU 2049086 C1, 21.11.1995.

Адрес для переписки:

117977, Москва, ул. Косыгина 4, ИХФ РАН,
патентный отдел

(71) Заявитель(и):

Институт химической физики РАН им. Н.Н.
Семенова

(72) Автор(ы):

Арутюнов В.С.,
Басевич В.Я.,
Веденеев В.И.,
Рудаков В.М.,
Савченко В.И.,
Крымов Н.Ю.,
Лебедев Ю.А.,
Кутепов А.М.,
Сайфуллин И.Ш.

(73) Патентообладатель(ли):

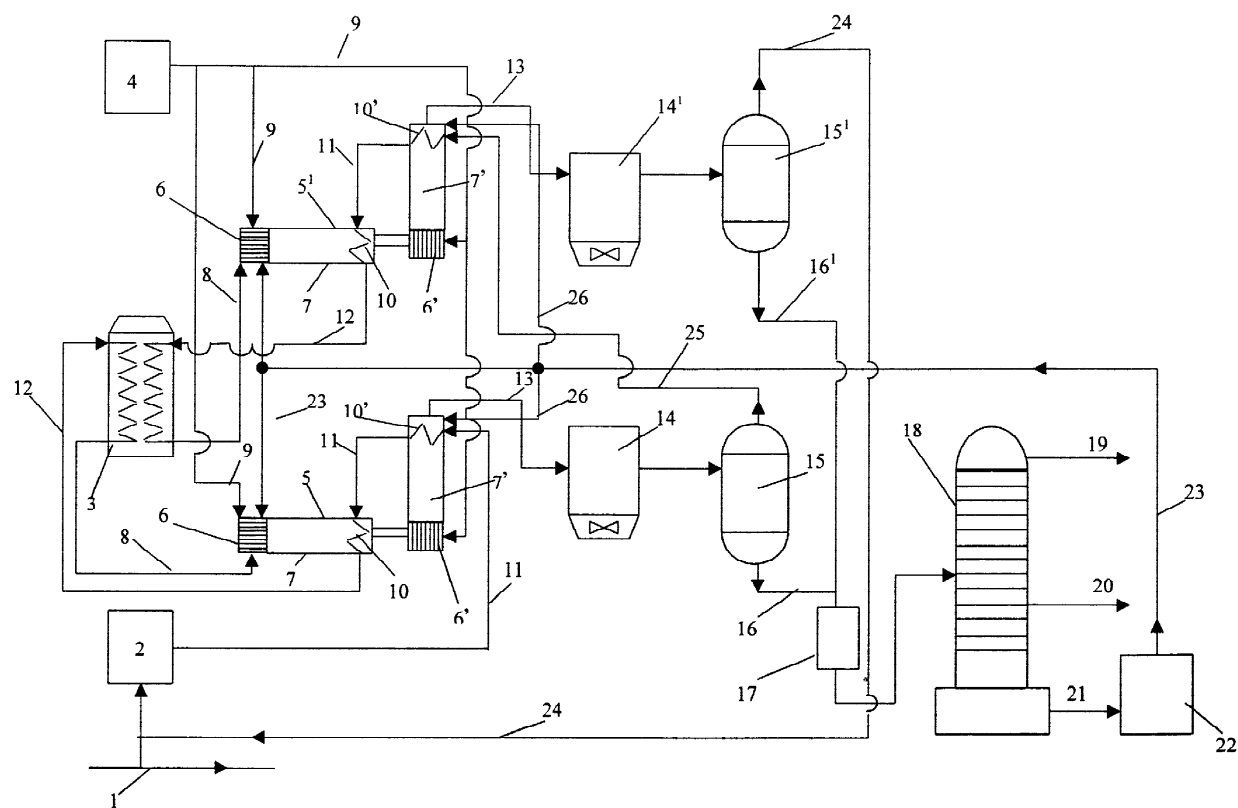
Арутюнов Владимир Сергеевич,
Веденеев Владимир Иванович,
Крымов Николай Юрьевич,
Лебедев Юрий Александрович,
Кутепов Алексей Митрофанович,
Сайфуллин Инсаф Шарифуллович

(54) СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА И УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАНОЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу производства метанола путем газофазного окисления углеводородсодержащего газа при начальной температуре до 500°C, давлении до 10 МПа и содержании кислорода не более 8 об.% в реакционных зонах реактора. В смесительную зону реактора раздельно подают последовательно сжатый и нагретый углеводородсодержащий газ и сжатый кислородсодержащий газ. Процесс включает дополнительную подачу кислородсодержащего газа в последующие смесительные зоны, охлаждение реакционной смеси, выделение метанола из охлажденной реакционной смеси, подачу отходящих газов в исходный углеводородсодержащий газ или на сжигание. Причем реакционную смесь охлаждают на 70-150°C перед каждой последующей ступенью окисления и закачивают в последней реакционной зоне, снижая температуру реакционной смеси не менее чем на 200°C за время, составляющее менее 0,1 времени ее пребывания в реакционной зоне.

Отходящие жидкие кислородсодержащие продукты после отделения метанола подают в первую смесительную зону реактора. Установка для производства метанола содержит источник углеводородсодержащего газа, компрессор и подогреватель, отдельный источник кислородсодержащего газа с компрессором, реактор с последовательно чередующимися смесительными и реакционными зонами с трубопроводами, рекуперативный теплообменник, холодильник-конденсатор, сепараторы, трубопровод для подачи отходящих газов. Причем рекуперативные теплообменники установлены у выходных торцов всех реакционных зон реактора с трубопроводами. Установка снабжена трубопроводом для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов в первую смесительную зону реактора. В результате повышается степень конверсии углеводородсодержащего газа и выход метанола. 2 с. и 5 з.п. ф-лы, 1 ил.





RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(19) **RU** (11) **2 162 460** (13) **C1**
(51) Int. Cl.⁷ **C 07 C 31/04, B 01 J 12/00**

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2000114217/04, 06.06.2000**

(24) Effective date for property rights: **06.06.2000**

(46) Date of publication: **27.01.2001**

Mail address:

**117977, Moskva, ul. Kosygina 4, IKhF RAN,
patentnyj otdel**

(71) Applicant(s):

Institut khimicheskoy fiziki RAN im. N.N. Semenova

(72) Inventor(s):

**Arutjunov V.S.,
Basevich V.Ja.,
Vedeneev V.I.,
Rudakov V.M.,
Savchenko V.I.,
Krymov N.Ju.,
Lebedev Ju.A.,
Kutepov A.M.,
Sajfullin I.Sh.**

(73) Proprietor(s):

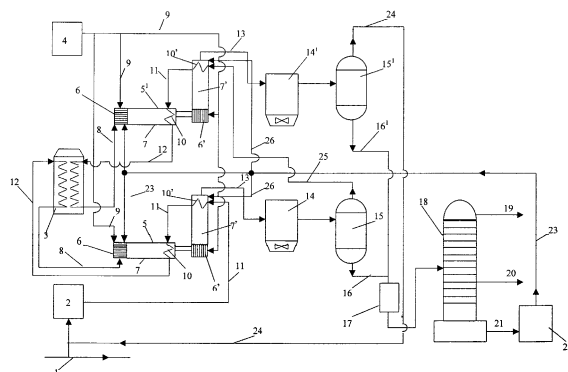
**Arutjunov Vladimir Sergeevich,
Vedeneev Vladimir Ivanovich,
Krymov Nikolaj Jur'evich,
Lebedev Jurij Aleksandrovich,
Kutepov Aleksej Mitrofanovich,
Sajfullin Insaf Sharifulloovich**

(54) METHOD OF METHANOL PRODUCTION AND PLANT FOR PRODUCTION OF METHANOL

(57) Abstract:

FIELD: methods and plants for production of methanol. SUBSTANCE: method involves production of methanol by gas-phase oxidation of hydrocarbon-containing gas at initial temperature up to 500 C, pressure up to 10 MPa and oxygen content of not more 8 vol.% in reactor reaction zones. Supplied separately and successively to reactor mixing zone are compressed and hot hydrocarbon-containing gas and compressed oxygen-containing gas. Process includes additional supply of oxygen-containing gas to subsequent mixing zone; cooling of reaction mixture; separation of methanol from cooled reaction mixture; supply of effluent gases to initial hydrocarbon-containing gas or for burning. Reaction mixture is cooled by 70-150 C before entering each subsequent stage of oxidation and hardened in the last reaction zone by reducing temperature of reaction mixture at least by 200 C for time equaling 0.1 time of its residence in reaction zone. Going-off liquid oxygen-containing products, after separation of methanol, are supplied to the first mixing zone of reactor. Plant for methanol production has source of hydrocarbon-containing gas, compressor

and heater, separate source of oxygen-containing gas with compressor, reactor with successively alternating mixing and reaction zones provided with pipelines, recuperative heat exchanger, condenser, separators, pipeline for supply of effluent gases. Recuperative heat exchangers are installed at outlet ends of all reaction zones with pipelines. Plant has a pipeline for supply of going-off liquid oxygen-containing products to the first mixing zone of reactor. EFFECT: higher conversion degree of hydrocarbon-containing gas and yield of methanol. 7 cl, 1 dwg, 1 tbl, 6 ex



Изобретение относится к области органической химии, а именно к технологии получения метанола прямым окислением углеводородсодержащего газа (природного газа и др.), и может быть использовано в химической и газодобывающей промышленности.

Запасы природного газа велики, он является экологически чистым топливом, но прямое использование газообразного энергоносителя во многих случаях, в частности на транспорте, неудобно. Проблему решает превращение природного газа в более универсальное жидкое топливо, в частности, метанол, являющийся к тому же исходным продуктом многих химических производств.

Известен ряд способов превращения метана в метанол. Широкое промышленное применение имеет паровая конверсия метана в синтез-газ (смесь CO и H₂) с его последующим каталитическим превращением в метанол (Караваев М.М., Леонов В. Е. и др. "Технология синтетического метанола".- М.: "Химия", 1984, с.72-125), но этот процесс имеет ряд существенных недостатков: сложность оборудования, высокие требования к чистоте газа, большие затраты энергии на получение синтез-газа и его очистку, большое число промежуточных стадий процесса, нерентабельность малых и средних производств мощностью менее 2000 т/день.

В настоящее время наибольший интерес вызывает прямое, минуя стадию получения синтез-газа, газофазное окисление метана в метанол при высоких давлениях. Процесс проводят при давлениях до 10 МПа и температурах 400-450°C в трубчатых реакторах при относительно низких начальных концентрациях кислорода с последующим охлаждением газожидкостной смеси и отделением жидких продуктов, из которых ректификацией выделяют метанол (Арутюнов В.С., Крылов О. В. "Окислительные превращения метана".- М.: "Наука", 1998, с. 130-145). Однако низкая степень конверсии метана за проход через реактор, не превышающая 3-5%, и соответственно низкий выход метанола сдерживают практическое внедрение метода получения метанола прямым окислением метана.

Известен способ получения метанола, включающий отдельную подачу предварительно нагретого до 200-500°C углеводородсодержащего газа под давлением 2,5 - 15 МПа и кислородсодержащего газа в смесительную камеру, последующие стадии неполного окисления метана при концентрации кислорода 1 - 4 об.% с дополнительным введением реагентов (металлооксидного катализатора, высших газообразных углеводородов или кислородсодержащих соединений, холодного окислителя) в реакционную зону реактора, охлаждение реакционной смеси в теплообменнике, выделение метанола из жидких продуктов реакции в сепараторе, подачу отходящих газообразных продуктов реакции на вход реактора (RU, 2049086 C1, С 07 С 31/04, 27.11.1995). Недостатком способа является необходимость использования катализатора или дополнительных реагентов и сильный разогрев реагирующих газов, приводящий к снижению выхода метанола и повышению вероятности сажеобразования.

Известен способ производства метанола, включающий отдельную подачу в смеситель углеводородсодержащего газа (природного или метана) и кислородсодержащего газа (воздуха или кислорода), последующую подачу смеси в инертный реактор, газофазное неполное окисление углеводородсодержащего газа в реакторе под давлением 1-10 МПа в течение 2-1000 с при температуре 300-500°C в отсутствие катализатора, при содержании кислорода 2-20 об.%, выделение метанола в конденсаторе из продуктов реакции, возврат отходящих реакционных газов, содержащих непрореагировавший метан, на смешение с исходным углеводородсодержащим газом и в первый реактор или во второй реактор, последовательно подсоединенный к первому реактору (GB, 2196335 A, С 07 С 31/04, 27.04.1988). Недостатком способа является большое время реакции, ограничивающее производительность реактора по метанолу.

Установка для производства метанола содержит последовательно установленные и соединенные трубопроводами смесительную камеру, подсоединенную к отдельным источникам углеводородсодержащего газа и воздуха или кислорода, реактор из инертного материала с нагревательными элементами для неполного окисления метана в смеси,

подаваемой в реактор под избыточным давлением, конденсатор и сепаратор для выделения метанола из продуктов реакции, емкость для рециркулируемых газообразных продуктов реакции с трубопроводом для их подачи в исходный углеводородсодержащий газ или смесительную камеру (GB, 2196335 A, C 07 C 31/04, 27.04.1988). Способ и установка обеспечивают высокий выход метанола и 5-15% метана может вступать в реакцию при каждом проходе через реактор. Однако большое время пребывания реагентов в реакторе не позволяет обеспечить высокую производительность установки.

Известен способ получения метанола путем отдельной подачи и окисления углеводородсодержащего газа кислородсодержащим газом при 370-450°C, давлении 5-20 МПа при времени контакта их в реакторе 0,2-0,22 с, с охлаждением разогревающейся реакционной смеси до 330-340°C введением в реактор метанола (SU, 1469788 A1, C 07 C 31/04, 20.11.96) или охлаждением реакционной смеси без промежуточной конденсации и сепарации до 380-400°C в межступенчатых теплообменниках, установленных в реакторе, после чего реакционная смесь поступает на 2-3 последовательные ступени окисления (SU, 1336471 A1, C 07 C 31/04, 27.09.96). Недостатком способа является необходимость дополнительного расхода и повторного выделения метанола, что связано с его неизбежными потерями, или установка дополнительных охлаждающих контуров с циркуляцией в них дополнительного охлаждающего агента.

Наиболее близким техническим решением является способ производства метанола и установка для его производства. Способ включает отдельную подачу последовательно сжатого и нагретого углеводородсодержащего (природного) газа и сжатого воздуха или кислорода в смесительную зону (смесительный блок) реактора, последовательное ступенчатое окисление углеводородсодержащего газа при начальной температуре 325-500°C, давлении 3-10 МПа и содержании кислорода 1,5-8 об. % в двух реакционных зонах реактора с дополнительной подачей кислорода или воздуха в последующую смесительную зону, охлаждение реакционной смеси, выделение метанола из охлажденной реакционной газожидкостной смеси и подачу отходящих газов в исходный углеводородсодержащий газ (трубопровод) или на сжигание.

Установка для производства метанола содержит установленные и подсоединенные к источнику углеводородсодержащего газа компрессор, рекуперативный теплообменник и огневой подогреватель для сжатия и нагрева углеводородсодержащего газа, отдельный источник кислорода или воздуха, подсоединенный к компрессору, реактор с двумя смесительными и реакционными зонами с трубопроводами для отдельной подачи углеводородсодержащего газа и воздуха или кислорода в смесительные зоны, последовательно установленные и соединенные с реакционной зоной реактора рекуперативный трубчатый теплообменник для охлаждения реакционной смеси и нагрева холодного углеводородсодержащего газа, холодильник-конденсатор, сепаратор для выделения метанола из охлажденной реакционной газожидкостной смеси и трубопровод для подачи отходящих газов из сепаратора в трубопровод углеводородсодержащего газа либо в реактор (RU, 2057745, C07C 31/04, 29/50, 10.04.1996). Известный способ и установка не обеспечивают достаточно высокой конверсии метана за один проход природного газа через реактор. Эффективная рециркуляция газов практически неизбежно требует использования в качестве окислителя кислорода, применение которого увеличивает себестоимость продукта на 20-30%. Кроме того, относительно высокая начальная температура реакции и дальнейший саморазогрев реакционной смеси уменьшают выход целевого продукта и способствуют интенсивному сажеобразованию, осложняющему функционирование технологического оборудования и снижающему качество получаемого метанола.

Технический результат предложенного способа производства метанола и установки для его производства заключается в повышении степени конверсии углеводородсодержащего газа и повышении выхода метанола, предотвращении сажеобразования и улучшении экологии процесса.

Указанный технический результат достигается тем, что предложенный способ

производства метанола включает отдельную подачу последовательно сжатого и нагретого углеводородсодержащего газа и сжатого кислородсодержащего газа в смешительную зону реактора, последующее газофазное окисление углеводородсодержащего газа при начальной температуре до 500°C, давлении до 10 МПа и содержании кислорода не более 8 об.% в реакционных зонах реактора с дополнительной подачей кислородсодержащего газа в последующие смешительные зоны, охлаждение реакционной смеси на 70-150°C перед каждой последующей ступенью окисления и закалку реакционной смеси в последней реакционной зоне снижением ее температуры не менее чем на 200°C за время, составляющее менее 0,1 времени их пребывания в реакционной зоне, выделение метанола из охлажденной реакционной газожидкостной смеси, подачу отходящих газов в исходный углеводородсодержащий газ и отходящих кислородсодержащих жидких продуктов реакции после отделения метанола в первую смешительную зону реактора; дополнительно охлаждение реакционной смеси перед каждой из 2-5 ступеней окисления ведут через стенку потоком холодного углеводородсодержащего газа; отходящие высококипящие жидкие продукты окисления подают в последующие смешительные зоны и у выходного торца последней реакционной зоны на закалку реакционной смеси; используют исходный углеводородсодержащий газ, выбранный из группы: природный газ, попутный нефтяной газ, газ нефтепереработки, ШФЛУ (широкая фракция легких углеводородов), газоконденсат; газофазное окисление ведут при начальной температуре 280-450°C и давлении 0,5-10 МПа.

Поставленная задача решается также тем, что установка для производства метанола содержит источник углеводородсодержащего газа, компрессор и подогреватель для сжатия и нагрева углеводородсодержащего газа, отдельный источник кислородсодержащего газа с компрессором, реактор с последовательно чередующимися смешительными и реакционными зонами с трубопроводами подачи углеводородсодержащего газа и кислородсодержащего газа в каждую смешительную зону и установленными у выходных торцов реакционных зон рекуперативными теплообменниками для охлаждения реакционной смеси через стенку холодным углеводородсодержащим газом, холодильники-конденсатор, сепаратор для разделения отходящих газов и жидких продуктов с последующим выделением метанола, трубопровод подачи отходящих газов в источник углеводородсодержащего газа и трубопровод подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов в первую смешительную зону реактора; установка дополнительно содержит до пяти последовательно установленных реакторов с холодильниками-конденсаторами и сепараторами, каждый из реакторов подсоединен трубопроводами к сепаратору предыдущего реактора, а соответствующий ему сепаратор подсоединен к первой смешительной зоне последующего реактора; установка снабжена дополнительными трубопроводами для подачи отходящих жидких продуктов реакции в последующие смешительные зоны и к выходным торцам последних реакционных зон реакторов.

Предложенный способ и установка обеспечивают проведение процесса со стадийным окислением, на каждой стадии которого разогрев реакционной смеси не превышает 70-150°C, перед каждой последующей стадией окисления реагирующую смесь охлаждают на величину, примерно равную ее разогреву на предыдущей стадии окисления, а в конце окисления - закалку за счет охлаждения через стенку холодным углеводородсодержащим газом, осуществляя при этом его подогрев. Кроме того, использование до пяти последовательно установленных реакторов стадийного окисления с полным охлаждением газовой смеси и выделением жидких продуктов окисления между ними с последующей подачей отходящих газов в источник углеводородсодержащего газа позволяет в несколько раз повысить общую степень конверсии углеводородсодержащего газа в метанол, а подача на вход смешительных зон первых ступеней окисления реакторов побочных жидких кислородсодержащих продуктов окисления, отделяемых при выделении метанола, позволяет понизить начальную температуру процесса, что также способствует повышению выхода метанола.

Если "сухой" природный газ окисляют воздухом, то разбавленный азотом менее чем на 35% выходящий углеводородный газ обладает достаточно высокой калорийностью для эффективного использования в энергосиловых и горелочных устройствах практически любого типа. Для полного использования углеводородного сырья отходящий

5 углеводородный газ рециркулируют.

Предложенная установка с установленными у выходных торцов всех реакционных зон реакторов рекуперативными теплообменниками, охлаждаемыми потоком холодного углеводородсодержащего газа до его подачи в подогреватель, обеспечивает охлаждение

10 реакционной смеси не менее чем на 200°C за время, не превышающее 0,1 времени пребывания реакционной смеси в реакционной зоне, а подача отходящих кислородсодержащих жидких продуктов из ректификационной колонны в первые смесительные зоны реакторов обеспечивает снижение общей температуры процесса, что позволяет избежать сажеобразования, нарушающего работу реактора и загрязняющего

15 получаемый метанол, а также избежать накопления жидких отходов, содержащих такие проблемные с точки зрения экологии продукты, как формальдегид и муравьиная кислота.

На чертеже представлена схема установки для производства метанола. Установка содержит источник 1 углеводородсодержащего газа, компрессор 2 и подогреватель 3, отдельный источник кислородсодержащего газа (не показан) вместе с компрессором 4,

20 реакторы 5 и 5¹ с последовательно чередующимися смесительными зонами 6, 6' и т.д. и реакционными зонами 7, 7' и т.д. с трубопроводом 8 подачи углеводородсодержащего газа из подогревателя 3 в первую смесительную зону 6 и трубопроводом 9 подачи кислородсодержащего газа от источника с компрессором 4 в каждую смесительную зону 6, 6' и т.д. реактора 5, 5¹, рекуперативные теплообменники 10, 10' и т.д. для охлаждения

25 реакционной смеси и нагрева через стенку холодного углеродсодержащего газа, подаваемого по трубопроводам 11, установленные у выходных торцов реакционных зон реактора 5 и снабженные трубопроводами 12 для подачи нагретого в теплообменниках 10, 10' и т.д. углеродсодержащего газа в подогреватель 3, а также трубопроводами 13 для подачи газожидкостной реакционной смеси из последней реакционной зоны 7' в

30 холодильники-конденсаторы 14, 14¹, сепараторы 15, 15¹ для отделения отходящих газов и жидких продуктов с трубопроводами 16, 16¹ для подачи жидких продуктов реакции в сборник 17 и далее в ректификационную колонну 18 с отделением метанола по трубопроводу 19 на склад (не показан), воды по трубопроводу 20 и жидких высококипящих кислородсодержащих продуктов окисления по трубопроводу 21 в сборник 22 с

35 трубопроводом 23 для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов реакции в первую смесительную зону 6 реактора 5, 5¹; трубопровод 24 для подачи отходящих газов из сепаратора 15¹ на вход компрессора 2 в исходный углеводородный газ или на сжигание в энергосиловую установку (не показана).

40 Установка может содержать до пяти (на чертеже показан один) последовательно установленных дополнительных реакторов 5¹ и т.д. с холодильниками-конденсаторами 14¹ и т.д., сепараторами 15¹ и т.д. с трубопроводами 25, 12 и 8 для подачи отходящих газов предыдущего реактора 5 и т.д. через рекуперативные теплообменники 10, 10' и т.д. последующего реактора 5¹ и т.д. и подогреватель 3 в первую смесительную зону 6

45 последующего реактора 5¹ и трубопроводами 23 и т.д. для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов реакции в первые смесительные зоны 6 реакторов 5¹ и т.д.; дополнительные трубопроводы 26 для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов реакции к выходным торцам последних реакционных зон 7' реакторов 5, 5¹ и т.д. на закалку.

50 Пример 1: Холодный сухой природный газ (содержание метана 98%) из источника 1 с расходом 7330 м³/ч сжимают в компрессоре 2 до 10 МПа, подают по трубопроводам 11, 12 через рекуперативные теплообменники 10', 10 реактора 5 в подогреватель 3, где нагревают до 430°C и подают в первую смесительную зону 6 реактора 5, одновременно по

трубопроводам 9 в каждую смесительную зону 6, 6' подают воздух из компрессора 4 с расходом 505 м³/ч и под давлением 10 МПа; в реакционных зонах 7, 7' реактора 5 происходит газофазное окисление природного газа при начальной температуре 430°C, давлении 10 МПа, концентрации кислорода $\approx 1,4\%$ об., времени реакции ≈ 1 с, после чего

5 реакционная смесь на выходе из реакционной зоны 7 охлаждается в рекуперативном теплообменнике 10 на 70°C и поступает в смесительную зону 6' следующей ступени окисления с той же подачей воздуха (всего две ступени окисления) и последующей закалкой на 200°C за $\approx 0,1$ с (0,1 времени пребывания реакционной смеси в последней

10 реакционной зоне 7') при прохождении через рекуперативный теплообменник 10'; выходящая из реактора 5 реакционная смесь поступает в воздушный холодильник-конденсатор 14, где охлаждается до температуры окружающей среды, и далее в сепаратор 15, где разделяется на жидкие и газообразные продукты. Жидкие продукты из сепаратора 15 по трубопроводу 16 подают в сборник 17 и далее на ректификацию в колонну 18 с

15 отделением метанола и его подачей по трубопроводу 19 на склад. Одновременно происходит выделение воды по трубопроводу 20 и высококипящих кислородсодержащих продуктов (водный раствор формальдегида и муравьиной кислоты) по трубопроводу 21 в сборник 22, откуда 25% общего количества этих продуктов по трубопроводу 23 поступает в первые смесительные зоны 6 реакторов 5 и 5¹. Отходящие газы из сепаратора 15 по

20 трубопроводу 25 через теплообменники 10, 10' и подогреватель 3 поступают в первую смесительную 6 последующего реактора 5¹. Охлаждение реакционных газов между ступенями окисления и их закалка производятся через стенку потоком холодного углеводородсодержащего газа, подаваемого в трубное пространство рекуперативных теплообменников 10, 10', с нагревом их до $\approx 350^\circ\text{C}$ перед подачей в подогреватель 3.

25 Окисление ведут в четырех (два из которых на чертеже не показаны) последовательно установленных реакторах с двумя реакционными зонами каждый. Общее количество получаемого метанола 625 кг/ч. Оставшуюся часть (75%) отходящих высококипящих кислородсодержащих жидких продуктов по трубопроводам 26 подают к выходным торцам последних реакционных зон 7' на закалку реакционной смеси. Отходящие газы последнего

30 реактора подают на сжигание на факел (не показан).

В таблице представлены режимные параметры описанного примера и других примеров предложенного способа.

Таким образом, по сравнению с известным способом достигается более высокая степень конверсии углеводородного газа за проход, в несколько раз повышается выход метанола,

35 снижается удельный расход углеводородного газа и уменьшается время (или температура) реакции.

Формула изобретения

1. Способ производства метанола, включающий раздельную подачу последовательно

40 сжатого и нагретого углеводородсодержащего газа и сжатого кислородсодержащего газа в смесительную зону реактора, последующее газофазное окисление углеводородсодержащего газа при начальной температуре до 500°C, давлении до 10 МПа и содержании кислорода не более 8 об.% в реакционных зонах реактора с дополнительной подачей кислородсодержащего газа в последующие смесительные зоны, охлаждение

45 реакционной смеси, выделение метанола из охлажденной реакционной газожидкостной смеси, подачу отходящих газов в исходный углеводородсодержащий газ или на сжигание, отличающийся тем, что реакционную смесь охлаждают на 70 - 150°C перед каждой последующей ступенью окисления и закачивают в последней реакционной зоне, снижая температуру реакционной смеси не менее чем на 200°C за время, составляющее менее 0,1

50 времени ее пребывания в реакционной зоне, отходящие жидкие кислородсодержащие продукты после отделения метанола подают в первую смесительную зону реактора.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что охлаждают реакционную смесь перед каждой из 2 - 5 ступеней окисления через стенку потоком холодного углеводородсодержащего газа.

3. Способ по пп.1 и 2, отличающийся тем, что отходящие жидкие кислородсодержащие продукты окисления дополнительно подают в последующие смесительные зоны и на выход последней реакционной зоны на закалку реакционной смеси.

5 4. Способ по п.1, отличающийся тем, что используют исходный углеводородсодержащий газ, выбранный из группы: природный газ, попутный нефтяной газ, газ нефтепереработки, ШФЛУ (широкая фракция легких углеводородов), газоконденсат.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что газофазное окисление ведут при начальной температуре 280 - 450°C и давлении 0,5 - 10 МПа.

10 6. Установка для производства метанола, содержащая источник углеводородсодержащего газа, компрессор и подогреватель для сжатия и нагрева газа, отдельный источник кислородсодержащего газа с компрессором, реактор с последовательно чередующимися смесительными и реакционными зонами с трубопроводами подачи углеводородсодержащего газа в первую смесительную зону реактора и кислородсодержащего газа в каждую смесительную зону, рекуперативный теплообменник для охлаждения реакционной смеси через стенку потоком холодного углеводородсодержащего газа, холодильник-конденсатор, сепаратор для разделения отходящих газов и жидких продуктов с последующим выделением метанола и трубопровод для подачи отходящих газов в исходный углеводородсодержащий газ, отличающаяся тем, что рекуперативные теплообменники установлены у выходных торцов всех реакционных зон реактора с трубопроводами для последующей подачи нагретого углеводородсодержащего газа в подогреватель, установка снабжена трубопроводом для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов в первую смесительную зону реактора.

20 7. Установка по п.6, отличающаяся тем, что она содержит до пяти последовательно установленных дополнительных реакторов с холодильниками-конденсаторами и сепараторами с трубопроводами для подачи отходящих газов предыдущего реактора через рекуперативные теплообменники и подогреватель в первую смесительную зону последующего реактора.

30 8. Установка по пп.6 и 7, отличающаяся тем, что она снабжена дополнительными трубопроводами для подачи отходящих жидких кислородсодержащих продуктов реакции к выходным торцам последних реакционных зон реакторов.

35

40

45

50

Таблица

	Пример № 1	Пример № 2	Пример № 3	Пример № 4	Пример № 5	Пример № 6
Количество реакторов, шт.	4	1	1	4	1	4
Число ступеней окисления в каждом реакторе	2	2	2	2	2	2
Рециркуляция отходящих газов	-	-	+	+	+	+
Состав углеводородного газа % об.	CH ₄ -98 N ₂ -1 CO ₂ -1	CH ₄ -98 N ₂ -1 CO ₂ -1	CH ₄ -98 N ₂ -1 CO ₂ -1	CH ₄ -98 N ₂ -1 CO ₂ -1	CH ₄ - 50 C ₂ H ₆ -12 C ₃ H ₈ -18 C ₄ H ₁₀ 20	CH ₄ - 50 C ₂ H ₆ -12 C ₃ H ₈ -18 C ₄ H ₁₀ 20
Поток углеводородного газа через реакторы, м ³ /ч	7330	7330	60000	8800	1200	1200
Степень конверсии газа за проход, %	11,3	11,3	3,5	12,4	10	40
Расход углеводородного газа, м ³ /ч	832	210	2100	1150	120	480
Удельный расход углеводородного газа, м ³ /т метанола	1360	1360	3300	1800	740	770
Полный расход кислорода (воздуха), м ³ /ч	4040 (воздух)	1010 (воздух)	1200	1100	190	750
Концентрация кислорода на входе в реакторы, % об.	1,5	1,5	1,5	1,5	7,3	7,2
Давление в реакторах, МПа	10	10	10	10	3,5	3,5
Температура смеси на входе в реактор, Т°С	430	430	430	450	325	280
Охлаждение между ступенями окисления, ΔТ°С	70	70	100	140	150	150
Изменение температуры при закалке, ΔТ°С	200	200	250	250	210	200
Выход метанола, кг/ч	625	180	625	625	160	625
Полный выход органических продуктов, кг/ч	745	196	825	730	260	~1000
Объем отходящего газа, м ³ /ч	10100	8340	2100	-	-	-
Калорийность отходящего газа, ккал/м ³	5420	7240	7200			