



УКРАЇНА

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВО(19) UA (11) 26415 (13) C1
(51) F02 G 3/20ОПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ НЕПОВНОГО ОКИСЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ПАЛИВА (ВАРІАНТИ)

1

(21) 96041568
(22) 18.10.94
(24) 30.08.99
(31) 08/139.367
(32) 20.10.93
(33) US
(85) 19.04.96
(86) /US94/11875, 18.10.94
(46) 30.08.99. Бюл. № 5
(56) Патент США № 5117623, кл. F 02 G 3/00, опубл. 1992.
(72) Янке Фредерік Чарлз (US), Волліс Пол Стівен (US), Такер Прейдін Стенлі (US)
(73) Тексако Девелопмент Корпорейшн (US)
(57) 1. Способ неполного окисления углеводородного топлива, включающий проведение реакции углеводородного топлива с газом, содержащим свободный кислород в реакционной зоне неполного окисления, с получением потока топливного газа, охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа, охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой, питающей котел, с понижением температуры упомянутого охлажденного водой топливного газа, и одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар, промывку этого насыщенного охлаждающей водой углеводородного топлива предварительно нагретой промывной водой, понижение давления и температуры охлажденного топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с холодной водой с осуществлением конденсации воды из указанного потока охлажденного топливного газа при нагревании этой воды, повторную очистку охлажденного топливного га-

2

за, насыщение потоков азота и очищенного топливного газа подогретой водой, подачу этих потоков в камеру сгорания газовой турбины, сжигание указанного топливного газа с газом, содержащим свободный кислород, в камере сгорания с получением отходящего газа с пониженным содержанием NO_x , отличающемся тем, что охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа производят до достижения его температуры в пределах примерно от 177 до 316°C (350–600°F) при давлении в пределах примерно от 3,45 до 17,24 Мпа (500–2500 фунтов на кв. дюйм), охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой производят до уровня примерно от 210 до 288°C (410–550°F) с одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар с промежуточным давлением в пределах от 1,896 до 4,14 Мпа (275–600 фунтов на кв. дюйм), дополнительно после первого бесконтактного охлаждения топливного газа осуществляют предварительное нагревание промывной воды, состоящей из конденсата и подпитывающей воды до температуры в пределах примерно от 191 до 288°C (375–550°F), путем прямого теплообмена с охлажденным насыщенным водой топливным газом, выходящим после первого бесконтактного охлаждения, в устройстве для осуществления прямого контакта между водой и газом, в результате чего температура охлажденного насыщенного топливного газа понижается до уровня, составляющего примерно от 149 до 282°C (300–540°F), давление охлажденного топливного газа понижается до величины, составляющей

(19) UA (11) 26415 (13) C1

примерно от 0,6895 до 15,858 Мпа (100–2300 фунтов на кв. дюйм), и происходит отделение сконденсированной воды от указанного топливного газа, дальнейшее охлаждение топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с водой осуществляют до температуры в пределах примерно от 4,4 до 60°C (40–140°F), при нагревании холодной воды с получением подогретой воды с температурой в пределах примерно от 107 до 204°C (225–400°F), осуществляют подачу ранее сконденсированной воды для использования ее в промывке топливного газа в устройстве для осуществления прямого контакта между водой и газом, производят перегрев насыщенных потоков топливного газа и азота до температуры примерно от 177 до 538°C (350–1000°F) перед подачей их в камеру сгорания газовой турбины и сжиганием в ней при температуре в пределах примерно от 1204 до 1427°C (220–2600°F) и давлении примерно от 0,6894 до 6,894 Мпа (100–1000 фунтов на кв. дюйм), и дополнительно осуществляют пропускание полученного газа через турбину расширительного действия для получения энергии с повышенным выходом.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что, по меньшей мере, часть промывной воды из указанной зоны промывки газа подают в указанную зону охлаждения газа.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что на операции понижения давления охлажденного газа давление указанного охлажденного топливного газа понижают в средствах понижения давления.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанные средства понижения давления выбирают из группы, состоящей из клапана, диафрагмы и турбины расширительного действия.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что при дальнейшем охлаждении топливного газа до 4,4–60°C (40–140°F) путем бесконтактного теплообмена с холодной водой указанный топливный газ охлаждают поэтапно в нескольких бесконтактных теплообменниках.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что в качестве хладагента в указанных теплообменниках используют циркулирующую воду и/или воду для питания котла.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ, содержащий свободный кислород, перед подачей в указанную реакционную зону неполного окисления насыщают водой.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что воздух в обычном воздухо-разделителе разделяют на поток кислорода и поток азота, при этом поток кислорода подают в указанную реакционную зону неполного окисления в качестве газа, содержащего свободный кислород, а поток азота подвергают указанному насыщению подогретой водой.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что указанный отходящий после расширительной турбины газ пропускают через парогенератор-утилизатор тепла при осуществлении его бесконтактного теплообмена с указанным паром промежуточного давления, выходящим после первого бесконтактного теплообмена, а перегретый пар промежуточного давления пропускают через турбину расширительного действия, по меньшей мере, как часть рабочей среды.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что промывку охлажденного насыщенного топливного газа совмещают с предварительным нагревом промывной воды при прямом теплообмене с охлажденным, насыщенным водой, топливным газом.

11. Способ неполного окисления углеводородного топлива, включающий проведение реакции углеводородного топлива с газом, содержащим свободный кислород, в реакционной зоне неполного окисления, с получением потока топливного газа, охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа, охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой, питающей котел, с понижением температуры упомянутого охлажденного водой топливного газа, и одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар, промывку этого насыщенного охлаждающей водой углеводородного топлива предварительно нагретой промывной водой, понижение давления и температуры охлажденного топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с холодной водой с осуществлением конденсации воды из указанного потока охлажденного топливного газа при нагревании этой воды, повторную очистку охлажденного топливного газа, насыщение потоков азота и очищенного топливного газа подогретой водой, подачу этих потоков в камеру сгорания газовой турбины, сжигание указанного насыщенного топливного газа с газом, содержа-

щим свободный кислород, в камере сгорания с получением отходящего газа с пониженным содержанием NO_x , отличающийся тем, что охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа производят до достижения его температуры в пределах примерно от 177 до 316°C (350–600°F) при давлении в пределах примерно от 3,45 до 17,24 Мпа (500–2500 фунтов на кв. дюйм), охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой производят до уровня примерно от 210 до 288°C (410–550°F) с одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар с промежуточным давлением в пределах примерно от 1,896 до 4,14 Мпа (275–600 фунтов на кв. дюйм), дополнительно после первого бесконтактного охлаждения топливного газа осуществляют предварительное нагревание промывной воды, состоящей из конденсата и подпитывающей воды, до температуры в пределах примерно от 191 до 288°C (375–550°F) путем прямого теплообмена с охлажденным насыщенным водой топливным газом, выходящим после первого бесконтактного охлаждения, в устройстве для осуществления прямого контакта между водой и газом, в результате чего температура охлажденного насыщенного топливного газа понижается до уровня в пределах примерно от 149 до 282°C (300–540°F), происходит отделение конденсата от указанного охлажденного топливного газа, дальнейшее понижение температуры топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с водой осуществляют до температуры в пределах 149–260°C (300–500°F) с выработкой пара промежуточного давления в пределах 0,6894–1,896 Мпа (100–275 фунтов на кв. дюйм) и отделением конденсата от упомянутого потока охлажденного топливного газа, подогрев охлажденного после бесконтактного теплообмена с водой потока охлажденного топливного газа до температуры, обеспечивающей после промежуточного расширения превышение точки росы на величину от 5,6 до 55,6°C (10–100°F), расширение потока топливного газа в турбине расширительного действия с понижением его давления до величины в пределах примерно от 0,6894 до 15,86 Мпа (100–2300 фунтов на кв. дюйм) и дальнейшее охлаждение топливного газа путем второго бесконтактного охлаждения до темпе-

ратуры в пределах примерно от 4,4 до 60°C (40–140°F), при нагревании холодной водой с получением нагретой воды с температурой в пределах примерно от 107 до 204°C (225–400°F) осуществляют подачу сконденсированной ранее воды с полученной на данном этапе совместно в устройство для осуществления прямого контакта, где ее нагревают до использования в качестве воды для промывки газа, причем промывку осуществляют до или после первого бесконтактного охлаждения насыщенного водой топливного газа, повторную после второго бесконтактного охлаждения, производят перегрев насыщенных потоков топливного газа и азота до температуры в пределах примерно от 177 до 538°C (350–1000°F) перед подачей их в камеру сгорания газовой турбины и сжигание в ней при температуре в пределах примерно от 1204 до 1427°C (2200–2600°F) и давлении в пределах примерно от 0,6894 до 6,894 Мпа (100–1000 фунтов на кв. дюйм), при этом отходящий после газовой турбины газ пропускают через турбину расширительного действия для выработки энергии с повышенным выходом.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что указанный газ, содержащий свободный кислород, насыщают водой перед подачей в указанную зону неполного окисления.

13. Способ по п.11, отличающийся тем, что воздух в обычном воздухоразделителе разделяют на поток кислорода и поток азота, при этом поток кислорода подают в указанную зону неполного окисления в качестве газа, содержащего свободный кислород, а поток азота насыщают подогретой водой.

14. Способ по п.11, отличающийся тем, что указанный отходящий газ после пропускания его через турбину расширительного действия пропускают через парогенератор-утилизатор тепла при осуществлении его бесконтактного теплообмена с указанным паром промежуточного давления с осуществлением его перегрева, а перегретый пар промежуточного давления пропускают через турбину расширительного действия, по меньшей мере, как часть рабочего тела.

15. Способ по п.11, отличающийся тем, что паровой конденсат, поступающий из турбины расширительного действия промежуточного давления, повторно нагревают путем бесконтактного теплообмена с потоком топливного газа при втором бесконтактном теплообмене топливного газа с холодной водой, нагре-

вают, обезвреживают и перегревают повторно нагретый паровой конденсат с образованием пара высокого давления, осуществляют расширение полученного пара высокого давления в турбине для получения механической энергии и пара промежу-

точного давления, перегревают пар промежуточного давления и подвергают расширению в промежуточной турбине с получением механической энергии, и проводят конденсацию отходящего из нее пара.

Изобретение относится к получению топливного газа неполным окислением углеводородных топлив и сжиганию указанного топливного газа в газовой турбине для выработки энергии.

Наиболее близким к заявляемому способу неполного окисления углеводородного топлива является способ, в котором используется подогрев воды, применяемой для насыщения топливного газа.

Способ включает проведение реакции углеводородного топлива с газом, содержащим свободный кислород в реакционной зоне неполного окисления, с получением потока топливного газа, охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа, охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой, питающей котел с понижением температуры упомянутого охлажденного водой топливного газа, и одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар, промывку этого насыщенного охлаждающей водой углеводородного топлива предварительно нагретой промывной водой, понижение давления и температуры охлажденного топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с холодной водой с осуществлением конденсации воды из указанного потока охлажденного топливного газа при нагревании этой воды, повторную очистку охлажденного топливного газа, насыщение потока азота и очищенного топливного газа подогретой водой, подачу этих потоков в камеру сгорания газовой турбины, сжигание указанного насыщенного газа с газом, содержащим свободный кислород, в камере сгорания с получением отходящего газа с пониженным содержанием NO_x . Однако указанный способ не может обеспечить при подаче отходящего газа в турбину получения энергии с повышенным к. п. д.

Задачей изобретения является создание такого способа неполного окисления углеводородного топлива, порядок операций и параметры которого позволили бы при подаче отходящего газа в турбину расширительного действия обеспечить получение энергии с повышенным к. п. д.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе неполного окисления углеводородного топлива, включающем проведение реакции углеводородного топлива с газом, содержащим свободный кислород, в реакционной зоне неполного окисления, с получением потока топливного газа, охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа, охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой, питающей котел, с понижением температуры упомянутого охлажденного водой топливного газа, и одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар, промывку этого насыщенного охлаждающей водой углеводородного топлива предварительно нагретой промывной водой, понижение давления и температуры охлажденного топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с холодной водой с осуществлением конденсации воды из указанного потока охлажденного топливного газа при нагревании этой воды, повторную очистку охлажденного топливного газа, насыщение потоков азота и очищенного топливного газа подогретой водой, подачу этих потоков в камеру сгорания газовой турбины, сжигание указанного насыщенного топливного газа с газом, содержащим свободный кислород в камере сгорания с получением отходящего газа с пониженным содержанием NO_x , согласно изобретению, охлаждение топливного газа охлаждающей водой с получением потока насыщенного охлаждающей водой топливного газа производят до достиже-

ния его температуры в пределах примерно от 177 до 316°C (350–600°F) при давлении в пределах примерно от 3,45 до 17,24 Мпа (500–2500 фунтов на кв. дюйм), охлаждение этого насыщенного охлаждающей водой топливного газа путем первого бесконтактного теплообмена с водой производят до уровня примерно от 210 до 288°C (410–550°F) с одновременным превращением упомянутой воды, питающей котел, в пар с промежуточным давлением в пределах примерно от 1,896 до 4,14 Мпа (275–600 фунтов на кв. дюйм), дополнительно после первого бесконтактного охлаждения топливного газа осуществляют предварительное нагревание промывной воды, состоящей из конденсата и подпитывающей воды, до температуры в пределах примерно от 191 до 288°C (375–550°F) путем прямого теплообмена с охлажденным насыщенным водой топливным газом, выходящим после первого бесконтактного охлаждения, в устройство для осуществления прямого контакта между водой и газом, в результате чего температура охлажденного насыщенного топливного газа понижается примерно до уровня, составляющего примерно от 149 до 282°C (300–540°F), давление охлажденного топливного газа понижается до величины, составляющей примерно от 0,6895 до 15,858 Мпа (100–2300 ф/кв. дюйм), и происходит отделение сконденсированной воды от указанного топливного газа, дальнейшее охлаждение топливного газа путем второго бесконтактного теплообмена с водой осуществляют до температуры в пределах примерно 4,4–60°C (40–140°F), при нагревании холодной воды с получением подогретой воды с температурой в пределах примерно от 107 до 204°C (225–400°F), осуществляют подачу ранее сконденсированной воды для использования ее в промывке топливного газа в устройстве для осуществления прямого контакта между водой и газом, производят перегрев насыщенных потоков топливного газа и азота до температуры примерно от 177 до 538°C (350–1000°F) перед подачей их в камеру сгорания газовой турбины и сжиганием в ней при температуре в пределах примерно от 1204 до 1427°C (2200–2600°F) и давлении примерно от 0,6894 до 6,894 Мпа (100–1000 фунтов на кв. дюйм) и дополнительно осуществляют пропускание полученного газа через турбину расширительного действия для получения энергии с повышенным выходом.

Предлагаемый способ неполного окисления углеводородного топлива позволяет создать высокоэффективный интегрированный комбинированный процесс газификации (ИКПГ), который включает ступенчатое охлаждение газа и который осуществляют при высоком давлении с целью максимального использования тепла охлажденного водой топливного газа для получения энергии. Паровой цикл выработки энергии оптимизирован, чтобы способствовать увеличению количества пара, который может быть эффективно использован в этом цикле. Азот из разделяющего воздух узла газификатора и топливный газ насыщают (водой) и используют для повышения эффективности и минимизации выхода NO_x .

Рекомендуется, по меньшей мере, часть промывной воды из указанной зоны промывки газа подавать в указанную зону охлаждения газа.

Целесообразно на операции понижения давления охлажденного топливного газа давление указанного охлажденного топливного газа понижать в средствах понижения давления.

Возможно, чтобы указанные средства понижения давления были выбраны из группы, состоящей из клапана, диафрагмы и турбины расширительного действия.

При дальнейшем охлаждении топливного газа до 4,4–60°C (40–140 F) путем бесконтактного теплообмена с холодной водой рекомендуется указанный топливный газ охлаждать поэтапно в нескольких бесконтактных теплообменниках.

Целесообразно в качестве хладагента в указанных теплообменниках использовать циркулирующую воду и/или воду для питания котла.

Рекомендуется газ, содержащий свободный кислород, перед подачей в указанную реакционную зону неполного окисления насыщать водой.

Возможно воздух в обычном воздухо-разделителе разделить на поток кислорода и поток азота, при этом поток кислорода подавать в указанную реакционную зону неполного окисления в качестве газа, содержащего свободный кислород, а поток азота подвергать указанному насыщению подогретой водой.

Указанный отходящий после расширительной турбины газ целесообразно пропускать через парогенератор-утилизатор тепла при осуществлении его бесконтактного теплообмена с указанным паром промежуточного давления, выходящим после первого бесконтактного теплообмена,

денного после бесконтактного теплообмена с водой потока охлажденного топливного газа до температуры, обеспечивающей после промежуточного расширения превышение точки росы на величину от 5,6 до 55,6°C (10–100 F) расширение потока топливного газа в турбине расширительного действия с понижением его давления до величины в пределах примерно от 0,6894 до 15,86 Мпа (100–2300 ф/кв. дюйм) и дальнейшее охлаждение топливного газа путем второго бесконтактного охлаждения до температуры в пределах примерно от 4,4 до 60°C (40–140 F), при нагревании холодной водой с получением нагретой воды с температурой в пределах примерно от 107 до 204°C (225–400 F), осуществляют подачу сконденсированной ранее воды с полученной на данном этапе совместно в устройстве для осуществления прямого контакта, где ее нагревают до использования в качестве воды для промывки газа, причем промывку осуществляют до или после первого бесконтактного охлаждения насыщенного водой топливного газа, повторную после второго бесконтактного охлаждения, производят перегрев насыщенного потоков топливного газа и азота до температуры в пределах примерно от 177 до 538°C (350–1000 F) перед подачей их в камеру сгорания газовой турбины и сжигание в ней при температуре в пределах примерно от 1204 до 1427°C (2200–2600 F) и давлении в пределах примерно от 0,6894 до 6,894 Мпа (100–1000 фунтов на кв. дюйм), при этом отходящий после газовой турбины газ пропускают через турбину расширительного действия для выработки энергии с повышенным выходом.

Рекомендуется газ, содержащий свободный кислород, насыщать водой перед подачей в зону неполного окисления.

Целесообразно воздух в обычном воздуходелителе разделять на азот и газообразный кислород, при этом поток кислорода можно подать в реакционную зону неполного окисления в качестве газа, содержащего свободный кислород, а поток азота можно насыщать подогретой водой.

Отходящий газ после пропускания его через турбину расширительного действия можно пропускать через парогенератор-утилизатор тепла при осуществлении его бесконтактного теплообмена с паром промежуточного давления с осуществлением его перегрева, а перегретый пар промежуточного давления можно пропускать через турбину расширительного действия, по меньшей мере, как часть рабочего тела.

Рекомендуется паровой конденсат, поступающий из турбины расширительного действия промежуточного давления, повторно нагревать путем бесконтактного теплообмена с потоком топливного газа при втором бесконтактном теплообмене топливного газа с холодной водой, далее нагревать, обезвоживать и перегревать повторно нагретый паровой конденсат с образованием пара высокого давления, осуществлять расширение полученного пара высокого давления в турбине для получения механической энергии и пара промежуточного давления, перегревать пар промежуточного давления и подвергать расширению в промежуточной турбине с получением механической энергии, и проводить конденсацию отходящего из нее пара.

Более полное понимание изобретения может дать прилагаемый чертеж, который иллюстрирует предпочтительный вариант осуществления изобретения, не ограничивая, однако, его объем описываемым процессом и используемыми материалами.

В предлагаемом способе сырой топливный газ, содержащий: в основном H_2 , CO , CO_2 , H_2O , с примесями пылевидных частиц угля и золы и по меньшей мере одного вещества из группы N_2 , Ar , CO_2 , CH_4 , NH_3 , HCN , $HCOOH$, и шлака, получают неполным окислением в свободном потоке жидких и/или газообразных углеводородных топлив (включая водную суспензию твердого углеродного топлива) газом, содержащим свободный кислород, обычно в присутствии ограничителя температуры, в реакционной зоне проточного вертикального некаталитического газогенератора. Массовое отношение H_2O к топливу в реакционной зоне примерно 0,1–5/1, в частности, примерно 0,2–0,7/1. Атомное отношение свободного кислорода к углеводу топлива – примерно 0,6–1,6/1, например, около 0,8–1,4/1. Продолжительность реакции примерно 0,1–50 сек., например, около 2–6 сек. Генератор сырого топливного газа представляет собой стальной футерованный огнеупором вертикальный цилиндрический аппарат, работающий под давлением.

Для получения синтез-газа в газогенераторе в реакцию с газом, содержащим свободный кислород, можно вводить широкий спектр горючих жидких и/или газообразных топлив или водных суспензий твердого углеродного топлива; реакция протекает в присутствии газа-ограничителя температуры.

Термин "жидкое углеводородное топливо" здесь и далее обозначает различ-

ные пригодные сырьевые материалы, включая жидкие углеводороды, жидкостные пригодные для перекачки суспензии твердых углеродных веществ и их смеси. Например, подходящим сырьем являются водные суспензии твердых углеродных топлив. Фактически любые горючие углеродсодержащие жидкие органические вещества или их суспензии могут подпадать под термин "жидкое углеводородное". Например:

1) пригодные для перекачки суспензии таких твердых углеродных топлив, как уголь, графитовая пыль, нефтяной кокс, концентрированный осадок сточных вод и их смеси, в летучем жидком носителе, например, воде, жидком CO_2 , жидком углеводородном топливе и их смесях;

2) предполагается, что подходящее жидкое углеводородное топливо для газификации включает такие различные вещества, как сжиженный нефтяной газ, нефтяные дистилляты и кубовые остатки, бензин, сырую нефть, керосин, лигроин, асфальт, газойль, мазут, каменноугольное масло, сланцевое масло, дистиллят каменноугольной смолы, ароматические углеводороды (такие, как бензол, толуол, фракции ксилола), угольную смолу, рецикловый газойль, выделяемый при каталитическом крекинге в псевдоожиженном слое, фурфуроловый экстракт коксовального газойля и смеси перечисленных веществ;

3) к жидким углеводородам могут быть отнесены их кислородсодержащие производные, включая углеводы, целлюлозные материалы, альдегиды, органические кислоты, спирты, кетоны, окисленный мазут, отработанные жидкости и побочные продукты химических процессов, содержащие кислородсодержащие производные углеводородов, и смеси перечисленных веществ.

Газообразные углеводородные топлива, пригодные для неполного окисления в газогенераторе по отдельности или совместно с жидким углеводородным топливом, включают природный газ, отходящие газы очистных установок, C_1 - C_4 углеводородные газы и отработанные углеродсодержащие газы химических производств.

Жидкое углеводородное сырье может иметь комнатную температуру или быть предварительно подогрето до температуры примерно $312-625^\circ\text{C}$ ($600-1200^\circ\text{F}$), но желательно ниже температуры крекинга. Жидкие сырьевые углеводороды можно вводить в горелку газогенератора в жидкой фазе или в паровозной смеси с ограничителем температуры.

Потребность в ограничителе температуры для регулирования температуры в реакционной зоне зависит, в общем, от отношения углерод/водород в сырье и содержания кислорода в потоке окислителя. Ограничитель температуры используют с жидкими углеводородными топливами и с весьма чистым кислородом. Наилучшими ограничителями температуры являются вода или пар. Пар может быть использован как ограничитель температуры, будучи подмешан к одному или обоим потокам реагентов. В другом варианте ограничитель температуры может быть введен в реакционную зону газогенератора по отдельному каналу горелки. Другие ограничители температуры включают газ, обогащенный CO_2 , азот и рециркулирующий синтез-газ.

Термином "газ, содержащий свободный кислород", здесь обозначены воздух, обогащенный кислородом, т. е. содержащий более 21 моль-% O_2 , и весьма чистый (более примерно 95 моль-%), кислород с примесями обычно N_2 и редких газов. Газ, содержащий свободный кислород, может быть подан через горелку неполного окисления при температуре не ниже примерно 477°C (900°F).

Поток сырого топливного газа покидает реакционную зону при температуре примерно $927-1927^\circ\text{C}$ ($1700-3500^\circ\text{F}$), например, около $1093-1538^\circ\text{C}$ ($2000-2800^\circ\text{F}$) и при давлении примерно 3,447-17,237 МПа (500-2500 фунтов на кв. дюйм), например, около 4,826-10,342 МПа (700-1500 фунтов на кв. дюйм). Состав сырого горячего отходящего газа в моль-% примерно таков:

H_2	10-70
CO	15-37
CO_2	0,1-25
H_2O	0,1-20
CH_4	0-60
NH_3	0-5
H_2S	0-5
COS	0-0,1
N_2	0-60
Ar	0-2,0
$\text{HCN} + \text{HCOOH}$	0-100 частей на миллион (по массе)

Частицы углерода присутствуют в количестве около 0-20% по массе (основное содержание углерода в исходном сырье). Зола и/или расплав шлака могут присутствовать соответственно в количествах примерно 0-5,0% и 0-60% от массы исходного жидкого углеводородного или твердого углеродного топлива.

В предпочтительном воплощении предлагаемого способа весь поток горячего

сырого топливного газа, покидающего футерованную реакционную зону газогенератора неполного окисления, имеет, в основном, ту же температуру и давление, что и в реакционной зоне, с учетом их обычного падения в трубопроводе. Этот газ вводят непосредственно в воду, находящуюся на днище барабана или сосуда для охлаждения. Предлагаемый способ обеспечивает минимизацию капитальных и эксплуатационных затрат и максимизацию температуры охлажденного газа, поскольку в нем применена система газификации с охлаждением водой при высоком давлении. Если бы тепло было выведено через выход газогенератора до охлаждения водой или если бы газогенератор работал при низком давлении, охлажденный газ имел бы температуру, недостаточную для получения пара промежуточного давления, необходимого для эффективного включения в паровой цикл.

Барабан для охлаждения водой располагают под реакционной зоной газогенератора, и поток поступающего в барабан сырого топливного газа уносит практически всю золу и/или шлак и частицы сажи с дна скруббера. Очищаемый газ пропускают затем сквозь пакет тарелок в верхней части скруббера, где он вступает в контакт с конденсатом, т. е. со стекающей вниз промывной водой. Эта вода из придонной части скруббера может быть рециркулирована в газоочиститель Вентури, если он имеется, и/или в газоохлаждающий бак, связанный с газогенератором.

Промывка газа согласно предложенному способу позволяет снизить количество твердых частиц в потоке очищенного топливного газа до весьма низкого уровня, т. е. менее приблизительно 3, желательно около 1 миллион⁻¹. Предлагаемый способ обеспечивает повышение температуры промывной воды до уровня примерно 191–288°C (375–550 F), например, около 204–232°C (400–450 F) прямым контактом с вырабатываемым топливным газом сразу после парогенератора, вырабатывающего пар с промежуточным давлением примерно 1,896–4,14 МПа (275–600 фунтов на кв. дюйм), например, около 2,068–2,76 МПа (300–400 фунтов на кв. дюйм) и температурой примерно 210–252°C (410–486 F), например, около 214–229°C (418–445 F).

В подогревателе промывной воды температура насыщенного водой топливного газа падает до уровня примерно 210–288°C (410–550 F), например, около 216–243°C

(420–470 F). В качестве такого подогревателя можно использовать любой обычный аппарат, обеспечивающий прямой контакт воды и газа, включая обычную колонну с набором тарелок. Прямой контакт обеспечивает максимальный теплообмен между водой и газом, максимизируя этим подогрев воды. Увеличение теплосодержания промывной воды увеличивает теплосодержание проходящего через скруббер газа и тем самым повышает выход пара промежуточного давления (ППД).

ППД вырабатывается в теплообменнике обычного типа бесконтактным теплообменом между горячим насыщенным водой топливным газом и питающей водой котла-утилизатора (ПВК). Теплообменник для получения ППД может быть расположен после резервуара охлаждающей воды и перед зоной промывки сырого топливного газа. В другом варианте этот теплообменник может быть размещен после зоны промывки, как это показано на чертеже.

В одном из воплощений изобретения топливный газ, выходящий из подогревателя промывной воды, проходит через бесконтактный теплообменник для выработки ППД с параметрами примерно 0,6894–1,896 МПа (100–275 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,034–1,724 МПа (150–250 фунтов на кв. дюйм) и 163–210°C (325–410 F), например, около 181–205°C (358–401 F). Топливный газ выходит из теплообменника ППД с температурой примерно 149–260°C (300–500 F), например, около 182–221°C (360–30 F) и поступает в сепаратор, где от него отделяют конденсат.

На следующей стадии процесса в зоне редукции давление топливного газа понижают до уровня примерно 0,6894–15,17 МПа (100–2300 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,38–7,58 МПа (200–1200 фунтов на кв. дюйм). Это делают для согласования с рабочим давлением расположенной далее турбины с камерой сгорания. Таким образом, пар приобретает пониженное давление перед удалением кислых газообразных примесей. Предлагаемый способ более эффективен, поскольку при редуцировании давления топливного газа до его полного охлаждения в нем остается значительное количество воды, что увеличивает массу (рабочего тела) и съем мощности в цикле расширения.

В одном из воплощений изобретения редуктор давления выполнен в виде клапана, который может быть установлен как

сам по себе, так и последовательно с диафрагмой. В другом воплощении в зоне редукции давления расположены бесконтактный теплообменник-подогреватель топливного газа и турбина расширительного действия, совмещающая понижение давления топливного газа с выработкой энергии. Далее в технологической линии расположен паровой котел-утилизатор тепла (ПКУ) отработавших в газовой турбине продуктов сгорания. В ПКУ получают горячую воду для нагрева топливного газа после расширения в турбине расширительного действия до температуры, превышающей точку росы на величину от -12,2 до +37,8°C (10-100°F).

Температура топливного газа после расширения составляет примерно 121-427°C (250-800 F), например, около 1479-232°C (300-450 F), и должна быть снижена до уровня примерно 4,4-60°C (40-140 F), например, около 38-49°C (100-120 F), перед вводом в зону удаления кислых газообразных примесей H_2S и CO_2 .

Для осуществления предложенного способа целесообразно использовать несколько теплообменников для понижения температуры потока топливного газа и утилизации низкотемпературного тепла при подогреве топлива и азота. Поскольку азот и воду вводят в топливо, подаваемое в камеру сгорания расположенной далее газовой турбины, уровень насыщения топлива этими компонентами, необходимый для подавления выхода NO_x и для повышения энергоотдачи турбины, будет значительно ниже. Это позволяет поддерживать температуру вблизи дна сатураторов настолько низкой, чтобы использовать для их подогрева низкотемпературное тепло.

Участок утилизации низкотемпературного тепла содержит примерно 2-7, например 5, последовательно установленных бесконтактных теплообменников, через которые проходит, охлаждаясь, газовый поток. Конденсационный горшок для отделения воды устанавливают за каждым, но по меньшей мере - за последним теплообменником. Накапливаемый в них конденсат перекачивают в ранее описанный подогреватель промывной воды. В качестве хладагента по меньшей мере в одном из теплообменников используют циркулирующую воду с температурой примерно 27-149°C (80-300 F), например, около 38-93°C (100-200 F). Циркулирующую воду подогревают в теплообменнике бесконтактным теплообменом с топливным газом.

Полученная горячая вода с температурой примерно 106-202°C (225-400 F),

например, около 135-188°C (275-370 F), поступает затем в сатураторы азота и топливного газа. Давление в обоих сатураторах примерно 0,6894-6,8947 МПа (100-1000 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,034-3,447 МПа (150-500 фунтов на кв. дюйм). По меньшей мере, в одном бесконтактном теплообменнике в качестве хладагента используют воду для питания ПКУ с температурой примерно 24-121°C (75-250 F). Таким образом, в одном бесконтактном теплообменнике можно получить пар низкого давления с давлением примерно 34,47 - 1,034 МПа (5-150 фунтов на кв. дюйм), например, около 207-345 кПа (30-50 фунтов на кв. дюйм).

В одном из воплощений изобретения конденсат пара из расположенной далее паровой турбины может быть вновь подогрет до температуры 32-177°C (90-350 F), например, около 38-121°C (100-250 F), в одном бесконтактном теплообменнике, затем возвращен в парогенератор ППД для дополнительного подогрева до температуры примерно 371-982°C (700-1800 F), например, около 427-649°C (800-1200 F) при давлении примерно 4,14-20,68 МПа (600-3000 фунтов на кв. дюйм), например, около 8,96-11,72 МПа (1300-1700 фунтов на кв. дюйм), и, наконец, использован как рабочее тело в одной из ступеней многоступенчатой турбины расширительного действия. В указанном ряде теплообменников температура топливного газа после расширения может быть снижена шаг за шагом:

- 1) 93-204°C (200-400 F);
- 2) 93-160°C (200-320 F);
- 3) 38-149°C (100-300 F);
- 4) 38-93°C (100-200 F);
- 5) 27-49°C (80-120 F).

Таким образом, в предложенном способе низкотемпературное тепло, получаемое в процессе охлаждения, эффективно используется в ряде теплообменников, получая тепло для операции насыщения топливного газа и азота, операции получения пара низкого давления, требуемого для извлечения кислых газов в узле удаления кислот (УУК) и серы в узле удаления серы (УУС) и для подогрева холодного конденсата.

Топливный газ может быть очищен в произвольной подходящей системе, например, в УУК, реализующем физическую или химическую абсорбцию таким жидким растворителем, как холодный метанол, N-метилпирролидон, диметилэфир, полиэтиленгликоль, ингибированный или

неингибированный амин. Кислые газы, т. е. CO_2 , H_2S и COS , хорошо растворяются в метаноле при высоком давлении и низкой температуре. После понижения давления и повышения температуры насыщенного раствора они могут быть легко выделены. H_2S и COS могут быть объединены во фракцию, пригодную в качестве сырья для УУС в виде обычного аппарата Клауса, дающего конечный продукт в виде элементарной серы.

Для разделения воздуха на потоки по существу чистого кислорода и азота в виде газов используют обычный воздухо-разделитель (ВР). По меньшей мере, часть азота насыщают водой, перегревают до температуры примерно $177\text{--}538^\circ\text{C}$ ($350\text{--}1000\text{ F}$), например, около $260\text{--}316^\circ\text{C}$ ($500\text{--}600\text{ F}$) теплом питающей котел-утилизатор воды и подают его в камеру сгорания газовой турбины совместно с потоком насыщенного пара воды и перегретого до подобной температуры топливного газа.

Перегрев насыщенного топливного газа и газообразного азота перед подачей в камеру сгорания необходим для уменьшения вероятности эрозии лопаток газовой турбины вследствие контакта с жидкостью. Потоки этих газов перед камерой сгорания содержат воду в количестве примерно $1\text{--}50$, например, около $5\text{--}30\%$ по объему. Насыщением азота водой достигают снижения его расхода с целью уменьшения выхода NO_x и повышения эффективности использования низкотемпературного тепла.

Поток газообразного кислорода из ВР с температурой не ниже, примерно 482°C (900 F), подают в реакционную зону неполного окисления газогенератора через один канал кольцевой горелки. В одном из воплощений изобретения этот поток вначале насыщают водой, чтобы получить газообразный кислород с температурой примерно $49\text{--}260^\circ\text{C}$ ($120\text{--}500\text{ F}$), например, около $66\text{--}177^\circ\text{C}$ ($150\text{--}350\text{ F}$) и концентрацией H_2O примерно $1\text{--}50$, например, около $5\text{--}35\%$ по объему. Преимущество предложенного способа заключается в использовании низкотемпературного тепла при насыщении кислорода водой, что повышает эффективность процесса, благодаря увеличению выхода пара промежуточного давления. В случаях, когда для генерирования топливного газа необходимо ограничение температуры, пар, содержащийся в кислороде, замещает необходимый для такого ограничения пар более высокого давления, использование ко-

торого в работающей при повышенном давлении части парового энергетического цикла еще более повышает эффективность процесса.

5 Воздух сжимают в турбокомпрессоре, приводимом от соосного вала турбины расширительного действия, которая наряду с камерой сгорания является главной частью газовой турбины. Сжатый воздух поступает в камеру сгорания с температурой около $204\text{--}454^\circ\text{C}$ ($400\text{--}850\text{ F}$) примерно под таким же давлением, что и насыщенный топливный газ и газообразный азот. Выходящий из камеры сгорания газ имеет температуру приблизительно $760\text{--}1649^\circ\text{C}$ ($1400\text{--}3000\text{ F}$), а обычно примерно $1260\text{--}1316^\circ\text{C}$ ($2300\text{--}2400\text{ F}$) и давление примерно $0,6894\text{--}6,8945\text{ МПа}$ ($100\text{--}1000$ фунтов на кв. дюйм) или выше, а желательно $1,034\text{--}3,447\text{ МПа}$ ($150\text{--}500$ фунтов на кв. дюйм) или выше. Типичный выходящий газ имеет следующий состав, моль. %:

CO_2	4-10
H_2O	4-20
N_2	75-80
O_2	0-20

Благодаря вводу насыщенного водой N_2 и топливного газа концентрация оксидов азота NO_x в отходящем газе близка к нулю, а именно, ниже 50 миллион⁻¹ в расчете на сухой 2% O_2 . Электроэнергию вырабатывает генератор, соосно кинематически связанный с указанной турбиной расширительного действия.

35 Отходящие газы, отработанные в турбине расширительного действия в составе газовой турбины и имеющие температуру приблизительно $427\text{--}816^\circ\text{C}$ ($800\text{--}1500\text{ F}$) и давление примерно $68,95\text{--}137,89\text{ кПа}$ ($10\text{--}20$ фунтов на кв. дюйм), пропускают через обычный паровой котел-утилизатор (ПКУ) и через дымовую трубу выбрасывают в атмосферу при температуре примерно $66\text{--}232^\circ\text{C}$ ($150\text{--}450\text{ F}$).

45 В ПКУ вырабатывается пар для обычной двухступенчатой паровой турбины, состоящей из турбины расширительного действия высокого давления и соосной турбины расширительного действия промежуточного давления, и пар для собственных нужд процесса. Так, перегретый пар высокого давления из ПКУ с температурой примерно $371\text{--}982^\circ\text{C}$ ($700\text{--}1800\text{ F}$), например, около $427\text{--}649^\circ\text{C}$ ($800\text{--}1200\text{ F}$) и давлением примерно $4,37\text{--}20,68\text{ МПа}$ ($600\text{--}3000$ фунтов на кв. дюйм), например, около $8,23\text{--}11,72\text{ МПа}$ ($1300\text{--}1700$ фунтов на кв. дюйм) вводят в турбину расширительного действия высокого давления (ТВД).

Отходящий из ТВД пар промежуточного давления с температурой примерно 204–649°C (400–1200 F), например, около 260–482°C (500–900 F) и давлением примерно 1,379–5,516 МПа (200–800 фунтов на кв. дюйм), например, около 2,068–3,447 МПа (300–500 фунтов на кв. дюйм) смешивают с паром промежуточного давления из системы охлаждения топливного газа. Смесь перегревают в ПКУ и подают в турбину расширительного действия промежуточного давления (ТПД) при температуре примерно 371–982°C (700–1800 F), например, около 427–649°C (800–1200 F), и давлении примерно 1,38–4,14 МПа (200–600 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,999–2,689 МПа (290–390 фунтов на кв. дюйм).

Пар промежуточного давления из системы охлаждения топливного газа (если он имеется) также может быть перегрет в ПКУ до температуры примерно 316–816°C (600–1500 F), например, около 371–538°C (700–1000 F) и давления примерно 0,6894–1,896 МПа (100–275 фунтов на кв. дюйм), например, 0,965–1,38 МПа (140–200 фунтов на кв. дюйм), и пропущен через одну ступень промежуточной турбины расширительного действия.

Отработанный пар из промежуточной турбины расширительного действия охлаждают, конденсируют, вновь подогревают до температуры примерно 32–177°C (90–350 F), например, около 38–121°C (100–250 F) в теплообменнике системы охлаждения топливного газа и сжимают до давления примерно 34,47 – 1,034 МПа (5–150 фунтов на кв. дюйм), например, около 82,745–517,11 кПа (12–75 фунтов на кв. дюйм), после чего вновь подают в ПКУ для получения перегретого пара высокого давления, пара промежуточного давления и пара низкого давления путем бесконтактного теплообмена с отработанным газом газовой турбины. Имеющие общий вид турбины расширительного действия высокого и промежуточного давления служат приводом электрогенератора.

Преимущество предложенного способа заключается в такой оптимизации парового цикла, при которой входное давление второй ступени турбины доведено до низкого уровня. Это позволяет использовать максимальное количество полученного пара с промежуточным давлением примерно 1,896–4,137 МПа (275–600 фунтов на кв. дюйм) непосредственно в цикле повторного нагрева. Фактически это давление понижено до возможного предела без заметного понижения эффектив-

ности парового цикла так, что количество пара, используемого в цикле повторного нагрева, максимально.

Уже упомянутый схематический чертеж может дать более полное представление об изобретении. И хотя на нем показано предпочтительное аппаратное воплощение способа согласно изобретению, он не ограничивает этот способ конкретными аппаратами или материалами, упоминаемыми в описании.

Как показано на чертеже, описанный ранее некаталитический футерованный огнеупором свободно-проточный генератор 1 топливного газа имеет коаксиально закрепленные во фланцах входную (по потоку) 2 и выходную 3 амбразуры. В амбразуре 2 установлена ранее описанная горелка 4 кольцевого типа с коаксиальными газогенератору 1 центральным 5 и концентричным кольцевым 6 каналами.

Водноугольную суспензию по линии 7 подают насосом в кольцевой канал 6, а поток газа, содержащего свободный кислород, по линии 8 вводят в центральный канал 5 горелки 4. Два питающих потока сливаются и, диспергируясь, вступают в реакцию неполного окисления в реакционной зоне 9 газогенератора 1. Поток горячего сырого топливного газа, содержащего H_2 , CO , CO_2 , H_2O , N_2 , Ar , H_2S и COS , проходит вниз по погруженной в охлаждающую воду трубе 10 в холодильник 15 в донной части газогенератора 1. Шлак и другие твердые частицы подлежат периодическому удалению через выходную амбразуру 3, линию 16, клапан 17, линию 18, бункер 19, линию 20, клапан 21 и линию 22.

Охлажденный водой сырой топливный газ проходит по линии 23 в скруббер 24 для отделения от него унесенной золы и других твердых частиц горячей промывной водой, поступающей по линии 25. Насос 26 перекачивает воду с дна скруббера 24 в холодильник 15 по линиям 27, 28. Очищенный сырой топливный газ выходит из скруббера 24 по линии 29 и охлаждается в теплообменнике 30 путем бесконтактного теплообмена с питающей водой котла-утилизатора (ПВКУ), которая поступает по линии 31 и выходит в линию 32 в виде пара с промежуточным давлением примерно 1,896–4,137 МПа (275–600 фунтов на кв. дюйм), например, около 2,068–2,758 МПа (300–400 фунтов на кв. дюйм).

Поток горячего сырого топливного газа по линии 33 поступает в подогреватель 37 промывной воды, где вступает в пря-

мой контактный теплообмен со смесью конденсата и подпитывающей воды, подаваемой насосом 54 по линиям 39, 58 из бака-накопителя 41 циркулирующей воды. Подпитывающая вода поступает в этот бак 41 по линии 40. Во избежание накопления в системе вредных примесей отработанную промывную воду периодически удаляют по линии 36. Конденсат из конденсационных горшков, расположенных в подогревательной секции низкого давления, подают в бак-накопитель 41. Таким образом, в подогревателе 37 получают очищенную воду, одновременно добываясь охлаждения и окончательной промывки топливного газа. Насос 43 прокачивает горячую промывную воду, скапливающуюся на дне подогревателя 37, по линиям 44, 48 в скруббер 24.

Когда клапан 45 в линии 46 закрыт, а клапан 47 в линии 50 открыт, очищенный сырой топливный газ из подогревателя 37 промывной воды поступает по линиям 49, 50, 51 в конденсационный горшок 53, из которого конденсат откачивают насосом 43 по линиям 55, 48, в скруббер 24.

В одном из воплощений способа при закрытом клапане 47 и открытом клапане 45 очищенный топливный газ в линии 46 пропускают по линии 57 к теплообменнику 60. Тогда вода, питающая котел-утилизатор, поступает в теплообменник 60 по линии 61 и выходит по линии 62 в виде пара с промежуточным давлением примерно 0,6894–1,896 МПа (100–275 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,034–1,379 МПа (150–200 фунтов на кв. дюйм). Охлажденный топливный газ выходит по линии 52 и поступает в конденсационный горшок 53.

Когда клапан 64 в линии 65 закрыт, а клапан-редуктор 66 давления в линии 67 открыт, топливный газ из линии 68 подают в линии 67, 69 (и диафрагму 70 в случае необходимости), линии 71, 72 и теплообменник 73. Таким путем давление топливного газа после клапана-редуктора 66 и/или диафрагмы 70 может быть снижено до уровня, допускающего подачу очищенного и насыщенного топливного газа в камеру 75 сгорания турбины, расположенной далее по потоку и состоящей из указанной камеры 75 и турбины 76 расширительного действия. Воздушный компрессор 77 для сжатия воздуха из линии 78 установлен на одном валу 79 с турбиной 76. Электрогенератор 80 имеет привод от вала 81, являющегося продолжением вала 79.

В другом варианте осуществления изобретения редуктором давления топливного газа может служить турбина 88 расширительного действия. В этом случае при закрытом клапане 66 и открытом клапане 64 топливный газ в линию 65 поступает через линию 85, подогреватель 86, линию 87 и указанную турбину 88.

Низкотемпературное тепло потока топливного газа в линии 72 дополнительно утилизируют, последовательно пропуская его через несколько, а именно от 2 до 7, например, 5 бесконтактных теплообменников и ступенчато снижая его температуру. За каждым, но по меньшей мере за последним, из таких теплообменников установлен конденсационный горшок для отделения конденсата, выпадающего из топливного газа при падении его температуры ниже точки росы. По мере последовательного прохождения через каждый теплообменник концентрация воды в топливном газе и его температура постепенно и одновременно уменьшаются.

В качестве хладагента может быть использована питающая вода котла-утилизатора или поток циркулирующей воды. Например, топливный газ в линии 72 пропускают последовательно через теплообменник 73, линию 92, конденсационный горшок 93, линию 94, теплообменник 95, линию 96, конденсационный горшок 97, линию 98, теплообменник 99, подогреватель 103 конденсата, линию 104, конденсационный горшок 105, линию 106, теплообменник 107, линию 108, конденсационный горшок 109 и линию 110. Температура топливного газа в линии 110 такова, что его можно подвергать в УУК 111 обычной очистке от кислых примесей, т. е. от H_2S и CO_2 , которые после выделения направляют по линии 112 в узел 113 извлечения серы. Извлеченную серу выводят по линии 114. Очищенный топливный газ по линии 115 поступает в сатуратор 116. Конденсат с дна конденсационных горшков 93, 97, 101, 105, 109 направляют через соответственные линии 122, 123, 124, 125, 126 и линии 127, 128, 129, 130, 131 в бак-накопитель 41.

Топливный газ, проходя через теплообменники 73 и 99, охлаждается циркулирующей водой. Насос 135 прокачивает холодную воду через линии 136, 137, теплообменник 99, линию 138, теплообменник 73, линии 139, 140, сатуратор 116 и линии 142, 143. Поток топливного газа, насыщенный водой, пропускают через ли-

нию 144, теплообменник 145, где его перегревают, и направляют по линии 146 в камеру 75 сгорания газовой турбины. Подогретую воду из линии 139 разделяют и часть ее направляют через линию 131 в линию 132 в сатуратор газообразного азота 133. Насос 149 прокачивает холодную воду с дна сатуратора 133 через линии 150, 151, 152, 137 в теплообменник 99. Подпитывающую воду вводят в циркулирующий поток по линии 153.

В обычном воздухоразделителе 156 воздух из линии 155 разделяют на поток вентиляционного азота в линию 154, поток азота в линию 157 и поток газообразного кислорода в линию 160. Поток газообразного азота в линии 157 насыщают водой в сатураторе 133. Насыщенный поток азота пропускают по линии 158, перегревают в бесконтактном теплообменнике 159 и вводят в камеру 75 сгорания газовой турбины по линии 174. Поток по существу чистого газообразного кислорода по линии 160 подают в сатуратор 156. Когда клапан 161 в линии 162 закрыт, а клапан 163 в линии 164 открыт, поток кислорода по линии 165 поступает в центральный канал 5 горелки 4. В другом варианте поток кислорода из линии 160 может быть насыщен водой перед подачей в газогенератор 1. В этом случае клапан 163 закрыт, а клапан 161 открыт. Газообразный кислород проходит по линиям 162, 166 в сатуратор газообразного кислорода. Поток насыщенного водой газообразного кислорода поступает затем по линии 168 в центральный канал 5 горелки 4. Подпитывающую воду в котел-утилизатор из линии 169 пропускают по линии 170, подогревают циркулирующей водой 139 в бесконтактном теплообменнике 171 и подают в сатуратор 167 газообразного кислорода по линии 172. Насосом 173 питающую воду из котла-утилизатора вновь подают в сатуратор 167 по линиям 174, 170, 172.

Преимущество одного из воплощений предложенного способа заключается в том, что в нем для выработки энергии предусмотрен паровой цикл. При этом энергию получают, пропуская горячий отработавший в турбине 76 расширительного действия газ через парогенератор-утилизатор 181 по линии 180. Например, пар из теплообменника 30 с промежуточным давлением в пределах примерно 1,896–4,137 МПа (275–600 фунтов на кв. дюйм), например, около 2,068–2,758 МПа (300–400 фунтов на кв. дюйм), по линии 32 смешивают с отработанным паром про-

межуточного давления из турбины 211 высокого давления. Смесь паров промежуточного давления пропускают по линии 182 в парогенератор 181 и перегревают до температуры примерно от 371–982°C (700–1800 F), например, около 427–649°C (800–1200 F), бесконтактным теплообменом с горячим отработанным газом из линии 180. Перегретый пар промежуточного давления подают по линии 189 в турбину расширительного действия как часть рабочего тела. Охлажденный отработанный газ из парогенератора 181 может уходить через дымовую трубу 183. Пар высокого давления, полученный в парогенераторе 181 из перегретого конденсата, поступает по линии 184 в турбину 185 расширительного действия высокого давления в качестве рабочего тела.

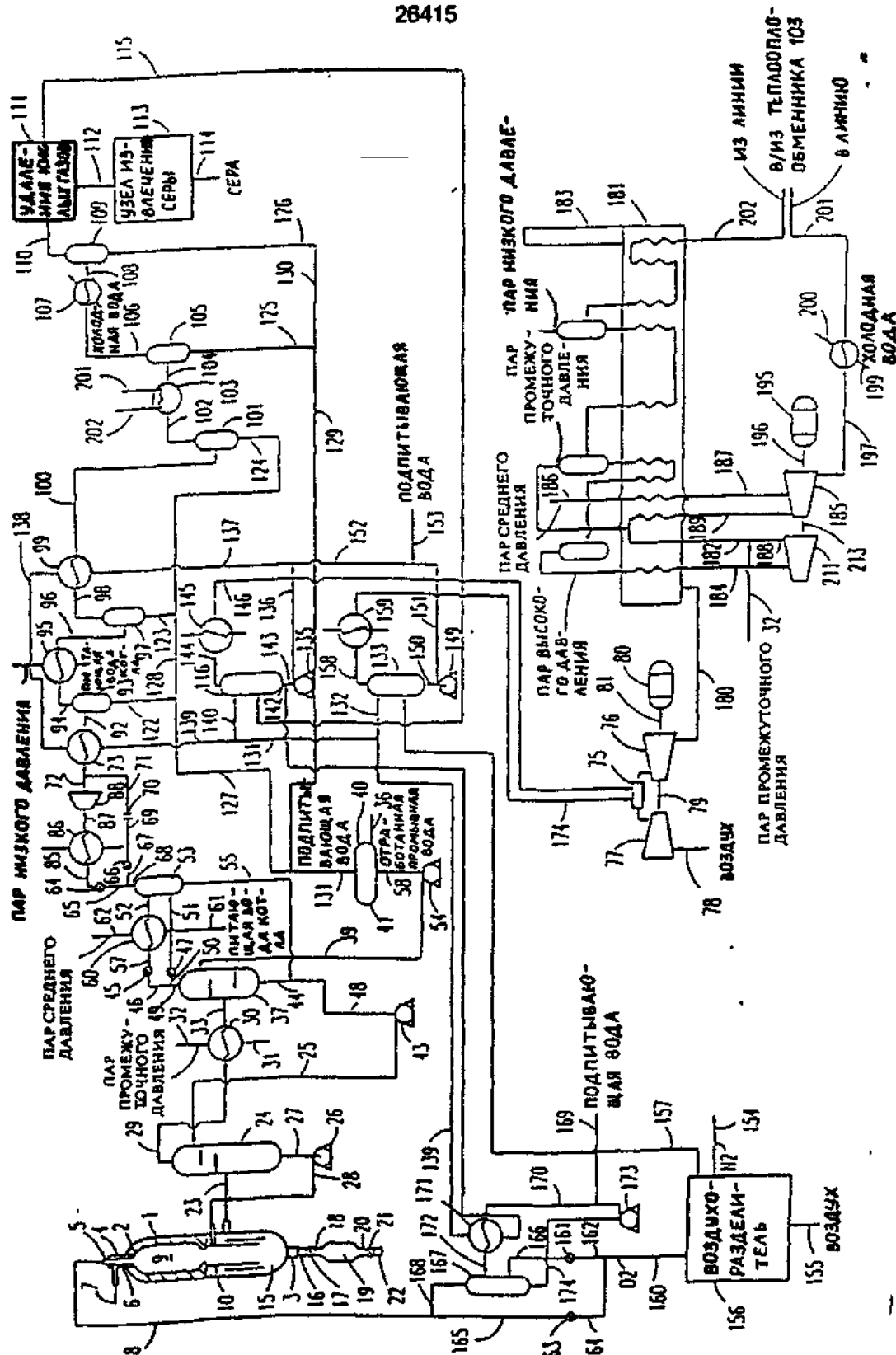
В одном из воплощений способа добавочный пар среднего давления в линии 62 из бесконтактного теплообменника 60 под давлением примерно 0,6894–1,896 МПа (100–275 фунтов на кв. дюйм), например, около 1,034–1,379 МПа (150–200 фунтов на кв. дюйм), подают по линии 186 в парогенератор 181 и перегревают до температуры примерно от 316–816°C (600–1500 F), например, около 371–538°C (700–1000 F), путем бесконтактного теплообмена с горячим отработанным газом из линии 180. Пар среднего давления как рабочее тело поступает по линии 187 в другую ступень турбины 185 расширительного действия.

Сидящие на одном валу турбины 211 и 185 проводят электрогенератор 195 через вал 196. Отработанный пар в линии 197 охлаждают и конденсируют в холодильнике 198 теплообменом с холодной водой, поступающей по линии 199 и выходящей в линию 200. Конденсат питающей воды котла-утилизатора в линии 201 перегревают в теплообменнике 103 путем бесконтактного теплообмена с сырым топливным газом из линии 102.

В одном из воплощений способа предварительно подогретую в котле-утилизаторе воду, пропуская по линии 202 через парогенератор 181, подогревают паром пониженного давления, выделенным в ступенях обезвоживания, чтобы получить пар высокого давления с температурой примерно 371–982°C (700–1800 F), например, около 427–649°C (800–1200 F), и давлением примерно 8,963–11,721 МПа (1300–1700) фунтов на кв. дюйм). В этом случае пар высокого давления перегревают в парогенераторе 181 и в качестве

рабочего тела подают по линии 184 в высоконапорную турбину 211 расширительного действия, которая соединена с

турбиной 185 расширительного действия промежуточного давления общим валом 213.



Упорядник

Техред М. Келемеш

Коректор М. Келемеш

Замовлення 506

Тираж

Підписне

Державне патентне відомство України,
254655, ГСП, Київ-53, Львівська пл., 8

Відкрите акціонерне товариство "Патент", м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101