



(51) МПК  
*F02C 6/18* (2006.01)  
*F25B 11/00* (2006.01)  
*F02C 7/10* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*F02C 6/18* (2023.05); *F25B 11/00* (2023.05); *F02C 7/10* (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2022130007, 18.11.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 18.11.2022

Дата регистрации:  
 14.11.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.11.2022

(45) Опубликовано: 14.11.2023 Бюл. № 32

Адрес для переписки:  
 443100, Самарская обл., г. Самара, ул.  
 Молодогвардейская, 244, УНИ, сектор ПИИЛР

(72) Автор(ы):

Гулина Светлана Анатольевна (RU),  
 Шелудько Леонид Павлович (RU),  
 Верещагина Ирина Вячеславовна (RU),  
 Лившиц Михаил Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Самарский государственный  
 технический университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2656769 С1, 06.06.2018. RU  
 2576556 С2, 10.03.2016. RU 2096640 С1,  
 20.11.1997.

(54) Способ работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали и устройство для его реализации

(57) Реферат:

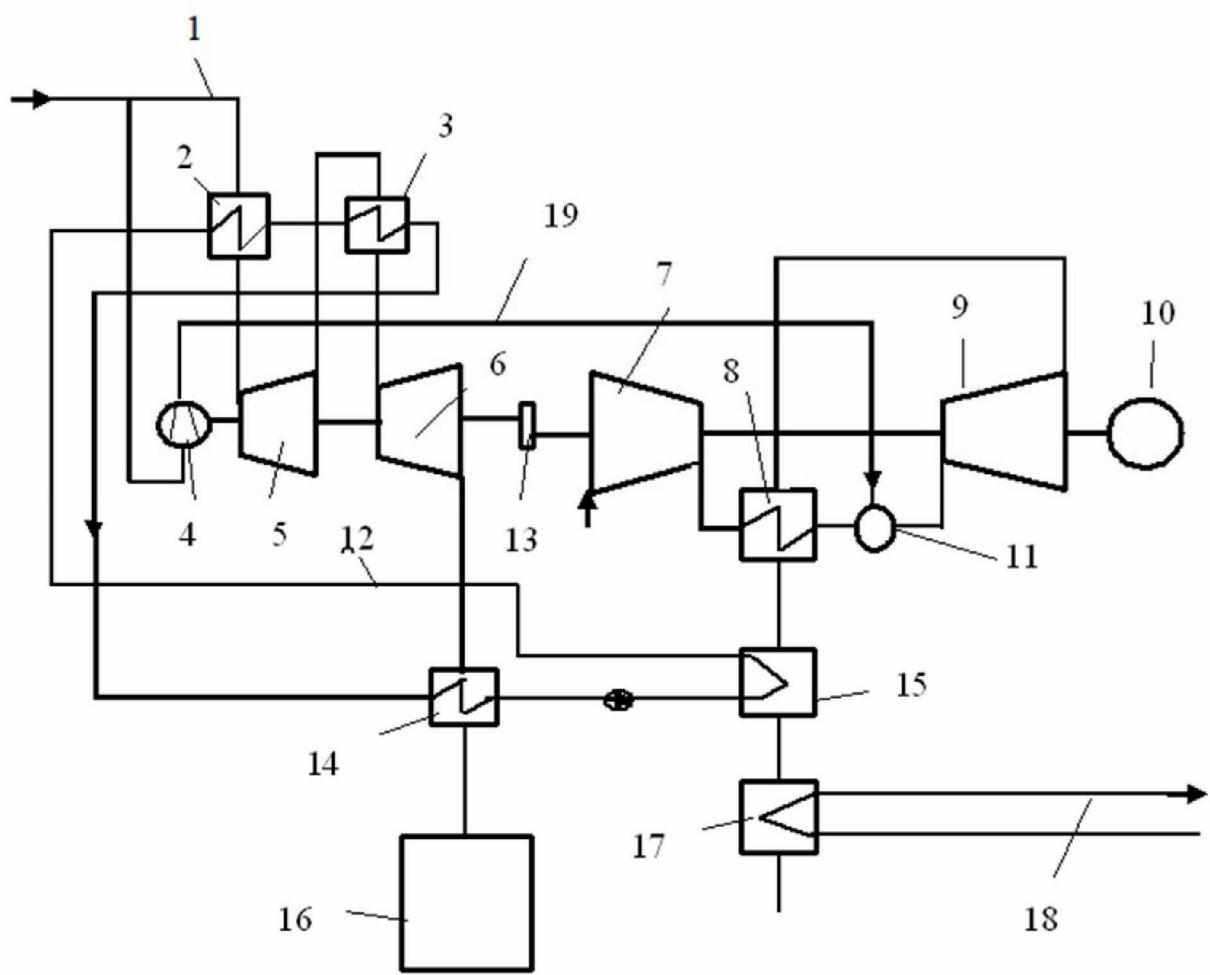
Способ относится к области энергетики и может быть использован на теплоэлектроцентралях. Способ работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали, содержащей газопровод высокого давления 1,1–1,2 МПа, подогреватели газа высокого и пониженного давления, турбодетандеры высокого и пониженного давления, понижающий редуктор, компрессор, регенеративный воздухоподогреватель, камеру сгорания, газовую турбину, электрогенератор, газоводяной утилизационный теплообменник, дожимной газовый компрессор, подогреватель сетевой воды, трубопроводы сетевой воды теплосети; большую часть газа высокого давления нагревают до 120°C теплом теплоносителя, нагретого в утилизационном теплообменнике теплом продуктов сгорания, которые расширены в газовой турбине, расширяют в турбодетандере высокого давления до 0,5–0,65 МПа, подогревают

теплом теплоносителя до 90–85°C, расширяют в турбодетандере пониженного давления до 0,14–0,15 МПа, подогревают теплом теплоносителя до 40–50°C и подают в котельные агрегаты теплоэлектроцентрали; при режимах работы энергетической установки с большими расходами газа высокого давления, компрессор и дожимной газовый компрессор приводят от турбодетандеров высокого и пониженного давления, электрогенератор приводят от газовой турбины с получением максимальной электрической мощности и КПД энергетической установки; при режимах работы с небольшими расходами газа высокого давления, привод компрессора и дожимного газового компрессора производят как от турбодетандеров высокого и пониженного давления, так и от газовой турбины, что приводит к уменьшению электрической мощности и КПД энергетической установки. 2 н.п. ф-лы, 1 ил.

1  
 С1  
 373  
 2807373  
 RU

R  
 U  
 2807373  
 C1

R U 2 8 0 7 3 7 3 C 1



ФИГ. 1

R U 2 8 0 7 3 7 3 C 1



(51) Int. Cl.  
*F02C 6/18* (2006.01)  
*F25B 11/00* (2006.01)  
*F02C 7/10* (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

*F02C 6/18* (2023.05); *F25B 11/00* (2023.05); *F02C 7/10* (2023.05)

(21)(22) Application: 2022130007, 18.11.2022

(24) Effective date for property rights:  
18.11.2022

Registration date:  
14.11.2023

Priority:

(22) Date of filing: 18.11.2022

(45) Date of publication: 14.11.2023 Bull. № 32

Mail address:

443100, Samarskaya obl., g. Samara, ul.  
Molodogvardejskaya, 244, UNI, sektor PIiLR

(72) Inventor(s):

Gulina Svetlana Anatolevna (RU),  
Sheludko Leonid Pavlovich (RU),  
Vereshchagina Irina Vyacheslavovna (RU),  
Livshits Mikhail Yurevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Samarskij gosudarstvennyj  
tekhnicheskij universitet" (RU)

RU 2807373 C1

(54) METHOD OF OPERATION OF REGENERATIVE GAS TURBINE EXPANDER POWER UNIT OF COMBINED HEAT AND POWER PLANT AND DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

(57) Abstract:

FIELD: energy.

SUBSTANCE: proposed method can be used in thermal power plants. Method of operation of a regenerative gas turbine expander power unit of a combined heat and power plant containing a high-pressure gas pipeline of 1.1–1.2 MPa, high- and low-pressure gas heaters, high- and low-pressure turboexpanders, a reduction gearbox, a compressor, a regenerative air heater, a combustion chamber, a gas turbine, an electric generator, gas-water recovery heat exchanger, booster gas compressor, heating network water heater, heating network heating network heating water pipelines; most of the high pressure gas is heated to 120°C by the heat of the heat transfer agent heated in a recovery heat exchanger by heat of combustion products, which are expanded in a gas turbine, subjected to expansion in a high-pressure turboexpander to 0.5–0.65 MPa, heated with the heat of the heat

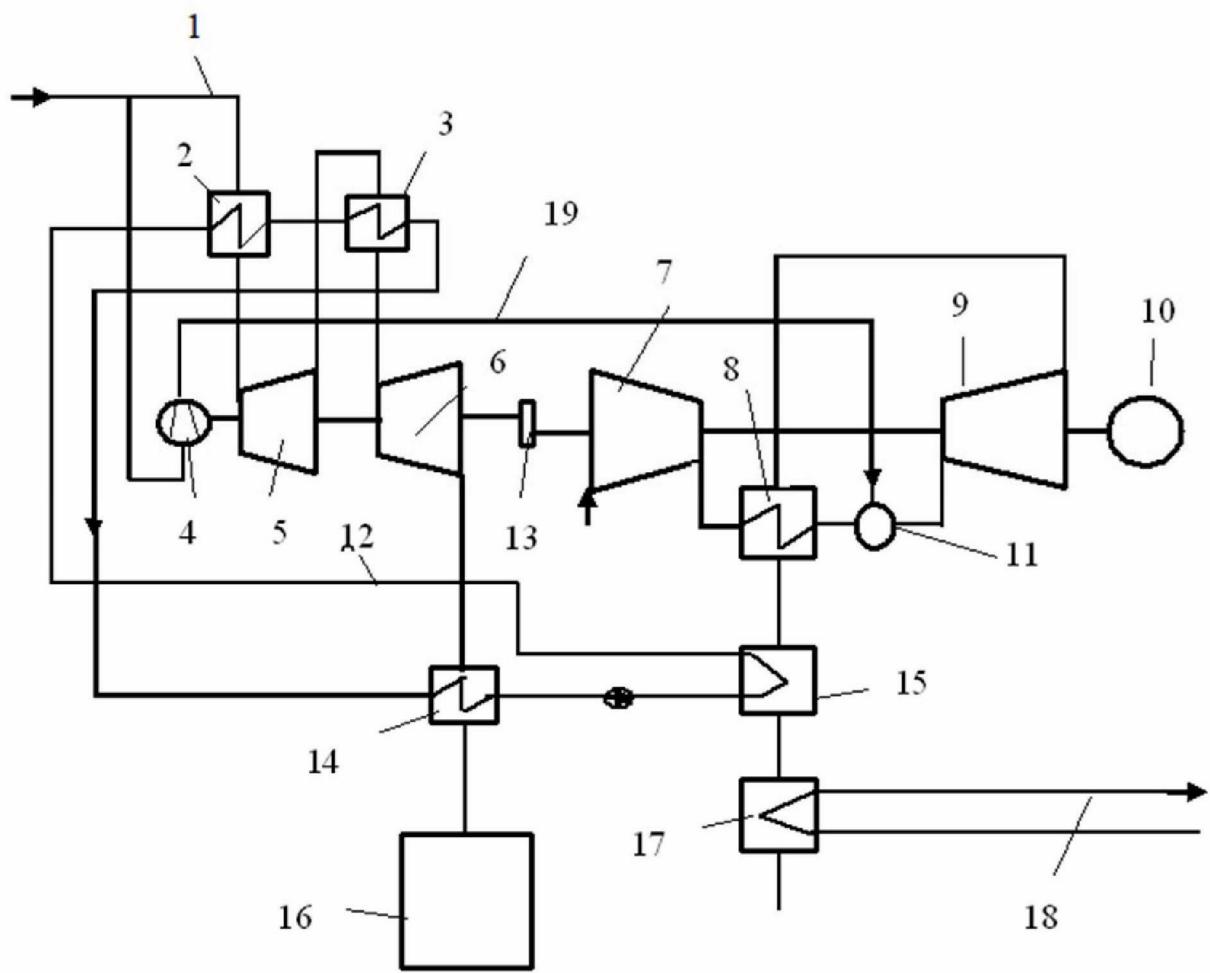
transfer agent to 90–85°C, subjected to expansion in a low-pressure turboexpander to 0.14–0.15 MPa, heated with heat of the heat transfer agent to 40–50°C and supplied to the boiler units of the combined heat and power plant; in operating modes of a power plant with high flow rates of high-pressure gas, the compressor and booster gas compressor are driven from high- and low-pressure turboexpanders, the electric generator is driven from a gas turbine to obtain maximum electrical power and efficiency of the power plant; in operating modes with low high-pressure gas flow rates, the compressor and booster gas compressor are driven both from high- and low- pressure turboexpanders and from a gas turbine which leads to a decrease in electrical power and efficiency of the power plant.

EFFECT: method of operation of regenerative gas turbine is proposed.

2 cl, 1 dwg

RU 2807373 C1

R U 2 8 0 7 3 7 3 C 1



ФИГ. 1

R U 2 8 0 7 3 7 3 C 1

Способ относится к области энергетики и может быть использован на теплоэлектроцентралях. Известен способ работы турбодетандерного агрегата на тепловых электрических станциях с использованием потенциальной энергии сжатого природного газа для выработки электроэнергии. (Е.А. Жигулина, Н.В. Калинин, В.Г.

- 5 Хромченков. Эффективность подогрева природного газа при использовании детандергенераторных агрегатов на тепловых электрических станциях <http://www.combienergy.ru/stat/1215-Effektivnost-podogreva-prirodnogo-gaza-pri-ispolzovaniu>).  
Природный газ (ПГ) подают на газораспределительную станцию (ГРП) теплоэлектроцентрали, подогревают до 80–100°C теплом пара из отборов паровых 10 турбин, расширяют в турбодетандере до давления 0,13–0,15 МПа и температуры 3–5°C. Затем его подогревают и подают в горелки котельных агрегатов ТЭС. Недостатком этого способа является использование отборного пара и небольшая электрическая мощность турбодетандерной установки.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки тепловой электрической станции (Патент РФ № 2656769), содержащей: газопровод высокого давления, газоводяной теплообменник подогрева газа высокого давления, турбодетандер, компрессор, регенеративный воздухоподогреватель, газовую турбину, электрогенератор, камеру сгорания, газоводяной утилизационный теплообменник 15 уходящих газов, трубопроводы теплоносителя с насосом, теплообменник подогрева газа пониженного давления, газопровод пониженного давления, дожимной газовый компрессор топливного газа, тепловую электрическую станцию. Газопровод высокого давления связан через теплообменник подогрева газа высокого давления с входом турбодетандера и с входом дожимного компрессора топливного газа. Выход 20 турбодетандера связан через теплообменник подогрева газа пониженного давления и газопровод пониженного давления с тепловой электрической станцией. Выход дожимного компрессора топливного газа связан с камерой сгорания. Утилизационный теплообменник уходящих газов связан трубопроводами теплоносителя с теплообменником подогрева газа высокого давления и с теплообменником подогрева 25 газа пониженного давления. Турбодетандер соединен валом с компрессором, газовая турбина соединена валом с электрогенератором. Согласно этому способу атмосферный воздух сжимают в компрессоре, подогревают в регенеративном воздухоподогревателе теплом продуктов сгорания, которые расширены в газовой турбине, в камеру сгорания подают сжатый воздух и природный газ, сжатый в дожимном компрессоре топливного 30 газа. Теплоту расширенных продуктов сгорания используют для нагрева теплоносителя в газоводяном теплообменнике утилизации теплоты уходящих газов. Теплоту нагретого теплоносителя используют для подогрева газа высокого давления в теплообменнике подогрева газа высокого давления и для подогрева газа пониженного давления в теплообменнике подогрева газа пониженного давления. Полезную работу газовой 35 турбины используют для выработки электроэнергии, полезную работу турбодетандера используют для привода компрессора. При изменении давления газа в газопроводе высокого давления, систему управления давлением газа пониженного давления используют для изменения положения регулирующего соплового аппарата турбодетандера и поддержания постоянного давления газа в газопроводе пониженного 40 давления, подаваемого в котельные агрегаты тепловой электрической станции.

Недостатком способа работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки тепловой электрической станции, который принят прототипом изобретения, является то, что в нем приняты постоянными расход газа подаваемого из газопровода

высокого давления, и мощность регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки. Но, фактически, при изменениях внешней тепловой и электрической нагрузок тепловой электрической станции, расход газа высокого давления значительно изменяется по месяцам года, что может привести к большим изменениям мощности турбодетандера,

5 расходу воздуха и мощности компрессора, к изменениям расхода топлива в камере сгорания, расходам продуктов сгорания и мощности газовой турбины, мощности электрогенератора и КПД регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки.

Технической задачей предлагаемого способа является повышение экономичности 10 регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки с расходами воздуха в компрессоре и продуктов сгорания в газовой турбине зависящими только от температуры атмосферного воздуха и независящих от изменений расходов газа по месяцам года в газопроводе высокого давления.

Поставленная задача решается за счет того, что в предлагаемом способе работы 15 регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали, согласно которому большую часть природного газа из газопровода высокого давления нагревают теплом теплоносителя, расширяют до низкого давления, нагревают теплом теплоносителя и подают в котельные агрегаты теплоэлектроцентрали, меньшую часть природного газа из газопровода высокого давления сжимают в дожимном газовом 20 компрессоре и по газопроводу топливного газа подают и сжигают в камере сгорания, атмосферный воздух сжимают в компрессоре, подогревают в регенеративном воздухоподогревателе теплом продуктов сгорания и подают в камеру сгорания, полезную работу газовой турбины используют для выработки электроэнергии, природный газ из газопровода высокого давления имеет давление 1,1–1,2 МПа, большую 25 часть газа высокого давления нагревают теплом теплоносителя до 120°C, расширяют до 6–5,5 МПа в турбодетандере высокого давления, подогревают теплом теплоносителя до 90–100°C, расширяют в турбодетандере пониженного давления до 0,13–0,14 МПа, подогревают теплом теплоносителя до 40–50°C и подают к горелкам котельных 30 агрегатов теплоэлектроцентрали, полезную работу турбодетандеров высокого и пониженного давления используют для привода дожимного газового компрессора и компрессора, полезную работу газовой турбины используют для привода электрогенератора и привода компрессора, при режимах работы установки с большим расходом природного газа, компрессор приводится от турбодетандеров высокого и пониженного давления, а электрогенератор приводится газовой турбиной, электрическая 35 мощность установки становится максимальной, а КПД повышается до 65–70%, при меньшем расходе газа компрессор приводится как от турбодетандеров, так и от газовой турбины, с уменьшением электрической мощности и КПД установки, а регенеративная газотурбодетандерная энергетическая установка теплоэлектроцентрали для реализации способа содержит: газопровод высокого давления, подогреватель газа высокого 40 давления, турбодетандер высокого давления, компрессор, регенеративный воздухоподогреватель, газовую турбину, электрогенератор, камеру сгорания, газоводяной утилизационный теплообменник уходящих газов, трубопроводы теплоносителя с насосом, газопровод низкого давления, дожимной газовый компрессор топливного газа, котельные агрегаты теплоэлектроцентрали, газопровод высокого 45 давления связан через подогреватель газа высокого давления с входом турбодетандера высокого давления и с входом дожимного компрессора топливного газа, выход компрессора связан по сжатому воздуху через поверхность нагрева регенеративного воздухоподогревателя с камерой сгорания, с которой также связан по сжатому газу

выход дожимного компрессора топливного газа, ротор турбодетандера высокого давления связан с ротором компрессора, ротор газовой турбины связан с ротором электрогенератора, а установка снабжена дополнительными подогревателем газа пониженного давления, турбодетандером пониженного давления, теплообменником подогрева сетевой воды, трубопроводами сетевой воды теплосети; при этом выход турбодетандера низкого давления связан через теплообменник подогрева газа низкого давления и газопровод низкого давления с горелками котельных агрегатов теплоэлектроцентрали тепловой электрической станцией, выход газовой турбины связан по продуктам сгорания через регенеративный воздухоподогреватель, газоводяной

5 подогрева сетевой воды, трубопроводами сетевой воды теплосети; при этом выход турбодетандера низкого давления связан через теплообменник подогрева газа низкого давления и газопровод низкого давления с горелками котельных агрегатов теплоэлектроцентрали тепловой электрической станцией, выход газовой турбины связан по продуктам сгорания через регенеративный воздухоподогреватель, газоводяной

10 утилизационный теплообменник уходящих газов с теплообменником подогрева сетевой воды, выход поверхности нагрева газоводяного утилизационного теплообменника связан трубопроводом теплоносителя через поверхности нагрева подогревателей газа высокого давления и газа пониженного давления с входом поверхности нагрева газоводяного утилизационного теплообменника, между турбодетандером высокого

15 давления и подогревателем газа пониженного давления последовательно установлены подогреватель газа пониженного давления и турбодетандер пониженного давления, роторы дожимного газового компрессора, турбодетандеров высокого и пониженного давления связаны через понижающий редуктор компрессора, ротор которого связан валом с роторами газовой турбины и электрогенератора.

20 Схема устройства для реализации предлагаемого способа работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали изображена на фиг. 1.

Устройство включает: 1 – газопровод высокого давления, 2 – подогреватель газа высокого давления, 3 – подогреватель газа промежуточного давления, 4 – дожимной

25 газовый компрессор, 5 – турбодетандер высокого давления, 6 - турбодетандер промежуточного давления, 7 – компрессор, 8 – регенеративный воздухоподогреватель, 9 – газовую турбину, 10 – электрогенератор, 11 – камеру сгорания, 12 – трубопроводы теплоносителя с насосом, 13 – понижающий редуктор, 14 – подогреватель газа низкого давления, 15 – газоводяной утилизационный теплообменник, 16 – котельные агрегаты

30 теплоэлектроцентрали, 17 – подогреватель сетевой воды, 18 – трубопроводы сетевой воды теплосети, 19 – газопровод топливного газа.

Предлагаемый способ работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали осуществляют следующим образом. Большую часть природного газа из газопровода высокого давления 1 с давлением 1,1–1,2 МПа

35 подогревают в подогревателе газа высокого давления 2 теплом теплоносителя до 120°C, расширяют в турбодетандере высокого давления 5 до 0,5 – 0,65 МПа, подогревают теплом теплоносителя в подогревателе газа пониженного давления 3 до 90–100°C, расширяют в турбодетандере пониженного давления 6 до давления 0,14–0,15 МПа, подогревают теплом теплоносителя в подогревателе газа пониженного давления 14 до

40 40–50°C и подают в котельные агрегаты теплоэлектроцентрали 16. Меньшую часть природного газа из газопровода высокого давления 1 сжимают в дожимном газовом компрессоре 4 и по газопроводу топливного газа 19 подают и сжигают в камере сгорания 11. Атмосферный воздух сжимают в компрессоре 7 и через регенеративный

45 воздухоподогреватель 8 подают в камеру сгорания 11. Продукты сгорания расширяют в газовой турбине 9 и сбрасывают в атмосферу через регенеративный воздухоподогреватель 8, газоводяной утилизационный теплообменник 15 и подогреватель сетевой воды 17. Теплоту продуктов сгорания расширенных в газовой турбине 9 используют для подогрева сжатого воздуха в регенеративном

воздухоподогревателе 8, для подогрева теплоносителя (воды) в газоводяном утилизационном теплообменнике 15 до 13–140°C и для подогрева сетевой воды теплосети в подогревателе сетевой воды 17. Нагретый теплоноситель подают по трубопроводу теплоносителя 12 в подогреватель газа высокого давления 2, где его 5 теплоту используют для нагрева газа высокого давления до температуры 120°C, затем частично охлажденный теплоноситель подают в подогреватель газа пониженного давления 3, где его теплоту используют для подогрева газа промежуточного давления 0,5–0,65 МПа до температуры 90–100°C. Теплом продуктов сгорания, частично охлажденных в газоводяном утилизационном теплообменнике 15, нагревают сетевую 10 воду в подогревателе сетевой воды 17, подводимую по трубопроводам сетевой воды теплосети 18. Роторы дожимного газового компрессора 4, турбодетандеров высокого 5 и пониженного давления 6 связаны через понижающий редуктор 13 с ротором компрессора 7, который связан общим валом с роторами газовой турбины 9 и 15 электрогенератора 10.

Совокупность признаков данного изобретения, по сравнению с аналогом и прототипом, позволяет использовать в регенеративной газотурбодетандерной энергетической установке компрессор с постоянным расходом воздуха и газовую турбину с постоянным расходом продуктов сгорания, которые не зависят от значительных изменений по месяцам года расходов природного газа, подаваемого на 20 теплоэлектроцентраль.

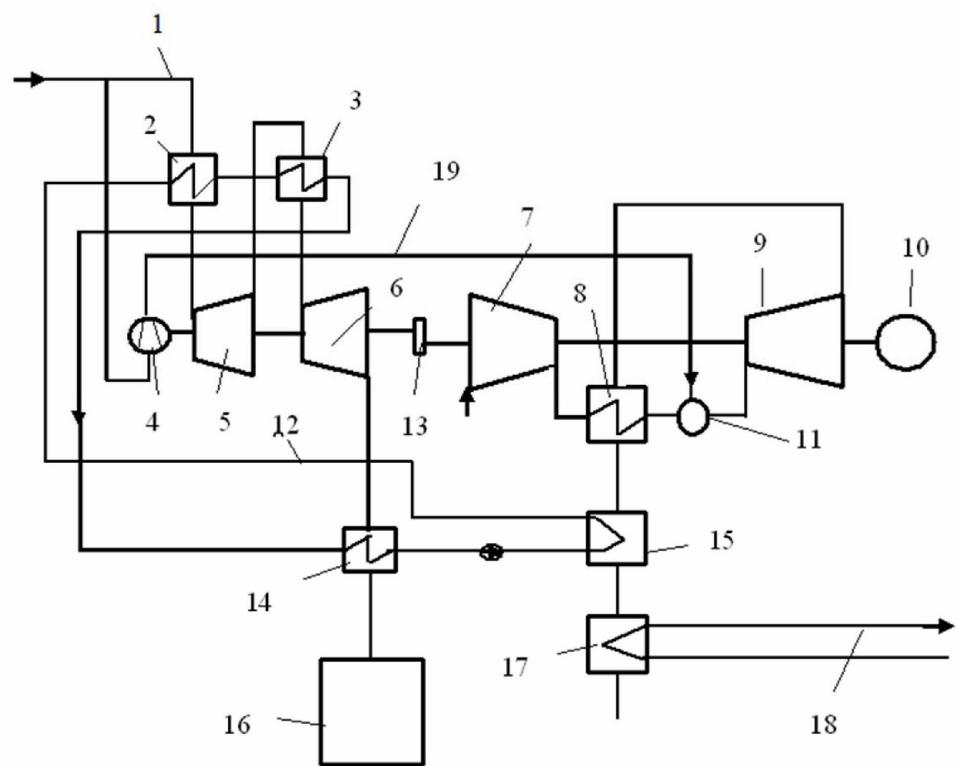
Преимущества предлагаемого способа работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали, в отличие от прототипа, определяются тем, что в месяцы года, при больших расходах природного газа, подаваемого на теплоэлектроцентраль, полезная работа турбодетандеров высокого и пониженного 25 давления используется для привода компрессора, а полезная работа газовой турбины используется для привода электрогенератора. При этом электрическая мощность энергетической установки близка к мощности газовой турбины, а электрический КПД регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки может повыситься до 60–65%. При небольших расходах газа в газопроводе высокого давления привод 30 компрессора производится как от турбодетандеров, так и от газовой турбины, что вызывает снижение электрической мощности и КПД этой энергетической установки.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ работы регенеративной газотурбодетандерной энергетической установки теплоэлектроцентрали, согласно которому большую часть природного газа из 35 газопровода высокого давления нагревают теплом теплоносителя, расширяют до низкого давления, нагревают теплом теплоносителя и подают в котельные агрегаты теплоэлектроцентрали, меньшую часть природного газа из газопровода высокого давления сжимают в дожимном газовом компрессоре и по газопроводу топливного газа подают и сжигают в камере сгорания, атмосферный воздух сжимают в компрессоре, 40 подогревают в регенеративном воздухоподогревателе теплом продуктов сгорания и подают в камеру сгорания, полезную работу газовой турбины используют для выработки электроэнергии, отличающейся тем, что природный газ из газопровода высокого давления имеет давление 1,1–1,2 МПа, большую часть газа высокого давления 45 нагревают теплом теплоносителя до 120°C, расширяют до 6–5,5 МПа в турбодетандере высокого давления, подогревают теплом теплоносителя до 90–100°C, расширяют в турбодетандере пониженного давления до 0,13–0,14 МПа, подогревают теплом теплоносителя до 40–50°C и подают к горелкам котельных агрегатов

теплоэлектроцентрали, полезную работу турбодетандеров высокого и пониженного давления используют для привода дожимного газового компрессора и компрессора, полезную работу газовой турбины используют для привода электрогенератора и привода компрессора, при режимах работы установки с большим расходом природного газа, компрессор приводится от турбодетандеров высокого и пониженного давления, а электрогенератор приводится газовой турбиной, электрическая мощность установки становится максимальной, а КПД повышается до 65–70%, при меньшем расходе газа компрессор приводится как от турбодетандеров, так и от газовой турбины, с уменьшением электрической мощности и КПД установки.

- 10 2. Регенеративная газотурбодетандерная энергетическая установка теплоэлектроцентрали для реализации способа по п. 1, содержащая: газопровод высокого давления, подогреватель газа высокого давления, турбодетандер высокого давления, компрессор, регенеративный воздухоподогреватель, газовую турбину, электрогенератор, камеру сгорания, газоводяной утилизационный теплообменник 15 уходящих газов, трубопроводы теплоносителя с насосом, газопровод низкого давления, дожимной газовый компрессор топливного газа, котельные агрегаты теплоэлектроцентрали, газопровод высокого давления связан через подогреватель газа высокого давления с входом турбодетандера высокого давления и с входом дожимного компрессора топливного газа, выход компрессора связан по сжатому воздуху через 20 поверхность нагрева регенеративного воздухоподогревателя с камерой сгорания, с которой также связан по сжатому газу выход дожимного компрессора топливного газа, ротор турбодетандера высокого давления связан с ротором компрессора, ротор газовой турбины связан с ротором электрогенератора, отличающаяся тем, что установка снабжена дополнительными подогревателем газа пониженного давления, 25 турбодетандером пониженного давления, теплообменником подогрева сетевой воды, трубопроводами сетевой воды теплосети; при этом, выход турбодетандера низкого давления связан через теплообменник подогрева газа низкого давления и газопровод низкого давления с горелками котельных агрегатов теплоэлектроцентрали тепловой электрической станцией, выход газовой турбины связан по продуктам сгорания через 30 регенеративный воздухоподогреватель, газоводяной утилизационный теплообменник уходящих газов с теплообменником подогрева сетевой воды, выход поверхности нагрева газоводяного утилизационного теплообменника связан трубопроводом теплоносителя через поверхности нагрева подогревателей газа высокого давления и газа пониженного давления с входом поверхности нагрева газоводяного утилизационного теплообменника, 35 между турбодетандером высокого давления и подогревателем газа пониженного давления последовательно установлены подогреватель газа пониженного давления и турбодетандер пониженного давления, роторы дожимного газового компрессора, турбодетандеров высокого и пониженного давления связаны через понижающий редуктор компрессора, ротор которого связан валом с роторами газовой турбины и 40 электрогенератора.



Фиг. 1