

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035057**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.22

(21) Номер заявки
201800577

(22) Дата подачи заявки
2018.10.30

(51) Int. Cl. **F01K 13/00** (2006.01)
F01K 25/04 (2006.01)
F25B 11/00 (2006.01)
F25B 27/02 (2006.01)

(54) **ТРИГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА, ПРОИЗВОДЯЩАЯ ЗАМОРАЖИВАНИЕ И ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ, ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ВНЕШНИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

(43) **2020.04.21**

(96) **2018000126 (RU) 2018.10.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "САМАРСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
АКАДЕМИКА С.П.
КОРОЛЕВА" (САМАРСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ); АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО "МЕТАЛЛИСТ-
САМАРА" (АО "МЕТАЛЛИСТ-
САМАРА") (RU)**

(56) RU-C1-2139430
RU-C1-2582536
RU-C2-2369808
RU-U1-157594
US-A1-20100307169

(72) Изобретатель:
**Бирюк Владимир Васильевич,
Елисеев Юрий Сергеевич, Кирсанов
Юрий Георгиевич, Шелудько Леонид
Павлович, Шиманова Александра
Борисовна, Шиманов Артем
Андреевич, Горшкалев Алексей
Александрович (RU)**

(57) Тригенерационная установка, производящая замораживание и опреснение морской воды, выработку электроэнергии и теплоснабжение внешних потребителей, снабженная парогазовой энергетической установкой с ГТУ, котлом-утилизатором, противодавленческой паровой турбиной с регулируемым отбором пара, двухкаскадной холодильной машиной с парокompрессионной и вакуумной испарительной ступенями, обеспечивающими образование "жидкого льда", размораживание кристаллов льда и получение обессоленной воды из морской воды с высоким солесодержанием.

B1**035057****035057****B1**

Изобретение относится к областям экологии и энергетики.

Известна парогазовая энергетическая установка (патент РФ № 2139430, опубл. 10.10.1999), содержащая газотурбинную установку с электрогенератором, в выхлопном газоходу газовой турбины установлен паровой котел-утилизатор, связанный паропроводом перегретого пара с противодавленческой паровой турбиной, выхлоп которой связан паропроводом с тепловым потребителем. Эта установка применяется для выработки электрической и тепловой энергии, но она не применяется для опреснения морской воды.

Известны парозежекторные холодильные машины, содержащие пароструйные эжекторы с использованием в этих машинах воды в качестве хладагента. Эти машины используют для охлаждения воды до температур 5-7°C, которая недостаточна для замораживания воды.

Наиболее близкой по технической сущности к изобретению, используемая для замораживания воды и получения "жидкого льда", является двухкаскадная холодильная машина, состоящая из двух ступеней ("Холодильная техника" №12 2011 г. С.16-20.)

В ее первом каскаде применяется парокompрессионная ступень с рабочим телом - озонобезопасным хладагентом R104a, а во втором каскаде используется водяная вакуумно-испарительная ступень. Объединение парокompрессионной холодильной ступени с водяной вакуумно-испарительной ступенью позволяет создать установку для получения "жидкого льда". Парокompрессионная ступень двухкаскадной холодильной машины содержит двухступенчатый паровой компрессор с приводом от электродвигателя, водяной конденсатор, отделитель жидкости от пара, дроссель 1, испаритель парокompрессионной холодильной машины (ПКХМ), дроссель 2. Водяная вакуумно-испарительная ступень второго каскада содержит вакуумную камеру испарителя, центробежный компрессор с приводом от электродвигателя, конденсатор, отделитель жидкости, дроссель 2, сепаратор снега, насос водолеяной смеси, трубопровод подпиточной воды с дросселем.

Водяной пар, образовавшийся из воды в вакуумной камере испарителя, сжимается в одноступенчатом турбокомпрессоре, конденсируется в конденсаторе за счет холодной воды, поступающей в него из испарителя, и поступает в корпус отделителя жидкости. Газы, выделившиеся из воды, отводятся в атмосферу с помощью вакуумного насоса. Вода из нижней части корпуса отделителя жидкости подается по трубопроводу в верхнюю часть вакуумной камеры испарителя. Не испарившаяся в этой камере вода охлаждается с образованием "жидкого льда", который подается трубопроводом с помощью насоса водолеяной смеси в сепаратор снега. Испаритель ПКХМ верхней ступени связан трубопроводом охлажденной воды с конденсатором второй ступени. Верхняя ступень двухкаскадной холодильной машины служит для отвода тепла от конденсатора нижней ступени.

Положительным качеством описанной двухкаскадной холодильной машины, принятой в качестве прототипа изобретения, является экономическая целесообразность ее применения для получения больших объемов снега из водолеяной смеси.

Недостатком прототипа является его применение для замораживания воды для получения больших объемов снега, а не получение опресненной воды из морской воды с высоким солесодержанием. Опреснение применяют в его первой ступени двухступенчатых механических компрессоров, потребляющих большое количество электроэнергии.

Целью изобретения является создание тригенерационной установки, обеспечивающей опреснение морской воды, выработку электрической и тепловой энергии с применением двухкаскадной холодильной машины с рабочим телом-водой и использованием в ее первой ступени пароструйных эжекторов, производящих сжатие водяного пара, подаваемого из вакуумной первой ступени.

Поставленная цель достигается за счет того, что тригенерационная установка, производящая замораживание и опреснение морской воды, выработку электроэнергии и теплоснабжение внешних потребителей, снабжена двухкаскадной холодильной машиной, состоящей из двух ступеней - первой парокompрессионной ступени и второй вакуумной испарительной холодильной ступени. Парокompрессионная ступень содержит двухступенчатый паровой компрессор, водяной конденсатор, отделитель жидкости от пара, испаритель, дроссели. Выход теплообменной поверхности испарителя связан паропроводом с входом первой ступени двухступенчатого компрессора, выход которой соединен паропроводами с входом второй ступени компрессора и с верхней частью отделителя жидкости. Выход второй ступени компрессора связан трубопроводом с входом поверхности теплообмена водяного конденсатора, корпус которого связан трубопроводами с охладителем воды (градирией). Выход поверхности теплообмена водяного конденсатора соединен трубопроводом охлажденной воды через дроссель с верхней частью корпуса отделителя жидкости. Нижняя часть корпуса отделителя жидкости связана через дроссель с входом теплообменной поверхности испарителя. Корпус испарителя соединен трубопроводами воды с насосом с корпусом конденсатора водяной вакуумной испарительной холодильной ступени. Водяная вакуумно-испарительная ступень второго каскада холодильной машины содержит вакуумную камеру испарителя, центробежный компрессор с приводом от электродвигателя, конденсатор, отделитель жидкости второй ступени, трубопровод водолеяной смеси, трубопровод подпиточной воды, дроссели. Вакуумная камера испарителя снабжена теплообменником-конденсатором смесительного типа, который связан трубопроводом холодной воды с нижней частью корпуса отделителя жидкости. Выход теплообменной поверхно-

сти конденсатора связан трубопроводом конденсата с верхней частью отделителя жидкости, которая через вакуумный насос связана по газам с атмосферой. Нижняя часть корпуса отделителя жидкости соединена трубопроводом с разбрызгивающим устройством, установленным в верхней части корпуса вакуумной камеры испарителя. Верхняя часть вакуумной камеры испарителя связана паропроводом с входом центробежного компрессора. Нижняя часть этой камеры связана с трубопроводами подпиточной воды и водолеяной смеси, причем тригенерационная установка дополнительно снабжена газотурбинной установкой с электрогенератором, паровым котлом-утилизатором, противодавленческой паровой турбиной с регулируемым отбором пара и электрогенератором, паровым подогревателем сетевой воды теплосети, тепловым потребителем; двухступенчатый паровой компрессор состоит из двух последовательно включенных по сжимаемому пару пароструйных компрессоров, дополнительно применен паровой подогреватель питательной воды котла-утилизатора; выход газовой турбины газотурбинной установки соединен газоходом с паровым котлом-утилизатором, вход которого связан с трубопроводом питательной воды; выход котла-утилизатора связан паропроводом перегретого пара с входом паровой турбины.

Выход паровой турбины связан паропроводами с паровым подогревателем сетевой воды теплосети, с входом парового компрессора (эжектора) первой ступени и с подогревателем питательной воды; водяной конденсатор связан трубопроводами воды с внешним водоохладителем (градирней); выход испарителя связан паропроводом с камерой смешения пароструйного компрессора первой ступени, выход пароструйного компрессора первой ступени соединен первым паропроводом с сопловым аппаратом компрессора второй ступени, а вторым паропроводом с верхней частью корпуса отделителя жидкости; вход второй ступени компрессора (эжектора) соединен паропроводом с регулируемым отбором паровой турбины, выход пароструйного компрессора второй ступени соединен через теплообменную поверхность водяного конденсатора и дроссель конденсата с верхней частью корпуса отделителя жидкости, а вторым трубопроводом соединен через питательный насос с входом котла-утилизатора; нижняя часть корпуса отделителя жидкости связана трубопроводом через дроссель неиспарившейся воды с входом теплообменной поверхности испарителя, выход которой соединен паропроводом с сопловым аппаратом компрессора первой ступени; верхняя часть корпуса отделителя жидкости от пара связана через паровой эжектор отсоса газа с атмосферой, причем сопловой аппарат эжектора отсоса газа связан паропроводом с регулируемым отбором пара паровой турбины; нижняя часть вакуумной камеры испарителя соединена через насос водолеяной смеси, шнек и поверхность нагрева подогревателя льда с трубопроводом опресненной воды, вход корпуса подогревателя льда связан трубопроводом с выходом теплообменной поверхности водяного конденсатора, а его выход связан с трубопроводом морской воды, который через дроссель морской воды и охладитель морской воды соединен с нижней частью вакуумной камеры испарителя, при этом вход теплообменной поверхности охладителя морской воды соединен с выходом теплообменной поверхности испарителя.

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором изображена схема комбинированной тригенерационной установки, которая состоит из трех секций - А, Б и В. Секцией А является энергетическая установка, секции Б и В изображают двухкаскадную холодильную машину, состоящую из двух ступеней.

Секция А (энергетическая установка) включает газотурбинную установку 1 с электрогенератором, противодавленческую паровую турбину 2 с регулируемым отбором пара и электрогенератором, паровой котел-утилизатор 3, паровой сетевой подогреватель сетевой воды теплосети - 7, тепловых потребителей - 8. Секция Б (парокомпрессионная ступень, являющаяся первой ступенью двухкаскадной холодильной машины), включает пароструйных компрессор (эжектор) 4 второй ступени, пароструйный компрессор (эжектор) 5 первой ступени, внешний водоохладитель 6 (градирню), подогреватель питательной воды 9, охладитель жидкости 10, водяной конденсатор 11, дроссель конденсата 12, дроссель неиспарившейся воды 13, испаритель 14. Секция В (водяная вакуумно-испарительная ступень второго каскада холодильной машины) содержит паровой эжектор отсоса газа 15, центробежный компрессор с приводом от электродвигателя 16, конденсатор 17, отделитель жидкости от пара 18, вакуумную камеру испарителя 19, насос водолеяной смеси 20, подогреватель льда 21, охладитель морской воды 22, дроссель морской воды 23. Рабочим телом в двухкаскадной холодильной машине являются вода и водяной пар.

Тригенерационная установка для опреснения морской воды, выработки электрической и тепловой энергии работает следующим образом. Выхлопные газы из газотурбинной установки 1 подают в паровой котел-утилизатор 3. Их теплоту используют для выработки в нем перегретого пара, который из котла-утилизатора 3 подают по паропроводу перегретого пара на вход противодавленческой паровой турбины 2. Ее полезную работу используют для выработки электроэнергии в электрогенераторе. Пар низкого давления из противодавления паровой турбине подают по паропроводу на вход пароструйного компрессора первой ступени 5 и используют для сжатия пара, подводимого к камере смешения по паропроводу из испарителя 14. Потоки пара, сжатого в пароструйном компрессоре первой ступени 5, и из верхней части корпуса охладителя жидкости 10 подают по паропроводам в камеру смешения пароструйного компрессора второй ступени 4, вход которого по инжектирующему пару подключен к регулируемому отбору паровой турбины 2. Пар, сжатый в пароструйном компрессоре второй ступени 4, подают по паропроводу на вход теплообменной поверхности водяного конденсатора 11, в котором производят его конденсацию за счет отвода теплоты конденсации пара трубопроводами во внешний водоохладитель 6 (градирню),

которая передает атмосферному воздуху тепло воды, нагретой в водяном конденсаторе 11. Конденсат пара из выхода теплообменной поверхности водяного конденсатора 11 разделяют на два потока. Его первый поток подают через питательный насос и подогреватель питательной воды 9 в котел-утилизатор, где его используют для выработки перегретого пара. В качестве греющего агента в подогреватель питательной воды 9 подают пар из выхлопа паровой турбины 2. Второй поток конденсата пара дросселируют в дросселе конденсата 12, подают с пониженным давлением в отделитель жидкости 10 и распыливают. Образующийся в отделителе жидкости 10 пар подают в камеру смешения пароструйного компрессора второй ступени 4. Воду из нижней части корпуса отделителя жидкости 10 подают через дроссель неиспарившейся воды 13 на вход теплообменной поверхности испарителя 14. Полученный в нем пар низкого давления при частичном испарении воды направляют по паропроводу в камеру смешения пароструйного компрессора 5 первой ступени. Воду в корпусе испарителя 14 охлаждают до 5-7°C за счет контакта с его теплообменной поверхностью, имеющей более низкую температуру. Затем эту воду из корпуса испарителя 14 подают насосом в корпус конденсатора 17 водяной вакуумно-испарительной ступени второго каскада холодильной машины. На вход теплообменной поверхности конденсатора 17 подают пар из верхней части вакуумной камеры испарителя 19, сжатый в центробежном компрессоре 16. Этот пар конденсируют в испарителе 14 за счет отвода тепла из корпуса испарителя 14 по трубопроводам холодной воды в испаритель 14. Полученный конденсат пара подают из выходной части поверхности теплообмена конденсатора 17 в отделитель жидкости от пара 18. Выделившиеся в нем из конденсата газы отсасываются с помощью парового эжектора отсоса газа 15 и сбрасываются в атмосферу. Инжектирующим потоком в паровом эжекторе отсоса газа 15 является пар, подаваемый по паропроводу из регулируемого отбора паровой турбины 2. Конденсат из нижней части корпуса отделителя жидкости от пара 18 подается в разбрызгивающее устройство, находящееся в вакуумной камере испарителя 19. Разбрызгиванием этого конденсата обеспечивают конденсацию части пара, образовавшегося в вакуумной камере испарителя 19.

Несконденсированный пар подают на вход центробежного компрессора 16. Морскую воду, подлежащую замораживанию и опреснению, подают в нижнюю часть вакуумной камеры испарения 19 через дроссель морской воды 23 со снижением ее давления и охладитель морской воды 22. В качестве охлаждающего агента в теплообменную поверхность охладителя морской воды 22 подают холодную воду, которая предварительно охлаждена в испарителе 17. Водоледную смесь, образовавшуюся в нижней части вакуумной камеры испарителя 19, состоящую из кристаллов льда и небольшого количества воды с высоким солесодержанием, подают насосом водоледной смеси 20 в корпус подогревателя льда 21. На его входе установлен шнек, расположенный в трубе, ее нижняя часть имеет несколько рядов отверстий диаметром в 1-1,5 мм, через которые из потока водоледной смеси выводится соленая вода, содержащаяся в водоледной смеси. Шнек, имеющий привод от электромотора, перемещает кристаллы льда в корпус подогревателя льда 21, который снабжен теплообменной поверхностью. Греющим агентом в подогревателе льда 21 служит конденсат греющего пара, подводимый к его теплообменной поверхности по конденсатопроводу из подогревателя питательной воды 9. Конденсат греющего пара, охлажденный в подогревателе льда 21, подают в трубопровод питательной воды котла-утилизатора 3. Растопленную воду подают в трубопровод опресненной воды. Морскую воду, подлежащую замораживанию и опреснению, подают в нижнюю часть вакуумной камеры испарения 19 через дроссель морской воды 23 со снижением ее давления в охладитель морской воды 22. В качестве охлаждающего агента в теплообменную поверхность охладителя морской воды 22 подают холодную воду, предварительно охлажденную в испарителе 17. Охлаждающую воду, вышедшую из теплообменной поверхности охладителя морской воды 22, подают в трубопровод морской воды.

Предлагаемая тригенерационная установка позволяет производить опреснение морской воды при ее расходах до нескольких тысяч кубометров в час. Применение в ней газотурбинной установки и паровой турбины, снабженных электрогенераторами с суммарной электрической мощностью в несколько десятков МВт, позволяет осуществлять электроснабжение собственных нужд и внешних потребителей. В летний период работы установки при повышенных температурах морской воды большая часть ее тепловой мощности используется в двухкаскадной холодильной машине для опреснения морской воды. Меньшая ее часть может использоваться для обеспечения теплоснабжения систем горячего водоснабжения потребителей. В зимний период работы, при низких температурах морской воды снижается потребление тепловой энергии установки двухкаскадной холодильной машиной. При этом при поддержании требуемой мощности газовой и паровой турбин может быть значительно увеличена присоединенная тепловая мощность внешних потребителей с ее использованием как для систем отопления, так и горячего водоснабжения потребителей.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Тригенерационная установка, производящая замораживание и опреснение морской воды, выработку электроэнергии и теплоснабжение внешних потребителей, снабжена двухкаскадной холодильной машиной, состоящей из двух ступеней - пароконденсационной ступени и вакуумной испарительной холодильной ступени; пароконденсационная ступень содержит двухступенчатый паровой компрессор, водя-

ной конденсатор, отделитель жидкости от пара, испаритель, дроссель конденсата, дроссель неиспарившейся воды; выход теплообменной поверхности испарителя соединен паропроводом с входом первой ступени двухступенчатого парового компрессора, выход которого соединен паропроводами с входом второй ступени парового компрессора и с верхней частью корпуса отделителя жидкости; выход второй ступени парового компрессора соединен трубопроводом с входом поверхности теплообмена водяного конденсатора, корпус которого связан трубопроводами с охладителем воды (градирней); выход поверхности теплообмена водяного конденсатора соединен трубопроводом охлажденной воды через дроссель с верхней частью корпуса отделителя жидкости, нижняя часть этого корпуса связана через дроссель неиспарившейся воды с входом теплообменной поверхности испарителя, корпус которого соединен трубопроводами воды с насосом с корпусом конденсатора водяной вакуумной испарительной холодильной ступени; водяная вакуумно-испарительная холодильная ступень, являющаяся второй ступенью каскада холодильной машины, содержит вакуумную камеру испарителя, центробежный компрессор с приводом от электродвигателя, конденсатор, отделитель жидкости второй ступени, трубопровод водолеяной смеси, трубопровод подпиточной воды, дроссель морской воды; верхняя часть вакуумной камеры испарителя связана трубопроводом неиспарившегося конденсата с нижней частью корпуса отделителя жидкости; выход теплообменной поверхности конденсатора связан трубопроводом конденсата с верхней частью корпуса отделителя жидкости, которая по газам через вакуумный насос связана с атмосферой; верхняя часть вакуумной камеры испарителя связана паропроводом с входом центробежного компрессора, нижняя часть этой камеры связана через насос с трубопроводом водолеяной смеси,

отличающаяся тем, что тригенерационная установка дополнительно снабжена газотурбинной установкой с электрогенератором, паровым котлом-утилизатором, противодавленческой паровой турбиной с регулируемым отбором пара и электрогенератором, паровым подогревателем сетевой воды теплосети, паровым сетевым подогревателем сетевой воды теплосети, тепловым потребителем; двухступенчатый паровой компрессор выполнен состоящим из двух последовательно включенных по сжимаемому пару пароструйных компрессоров (эжекторов); выход газовой турбины газотурбинной установки соединен газоходом с паровым котлом-утилизатором, вход которого связан трубопроводом питательной воды через питательный насос с выходом теплообменной поверхности водяного конденсатора; выход котла-утилизатора связан паропроводом перегретого пара с входом противодавленческой паровой турбины, выход которой связан паропроводами с паровым подогревателем сетевой воды теплосети, с входом парового компрессора (эжектора) первой ступени и с подогревателем питательной воды; водяной конденсатор связан трубопроводами воды с внешним водоохладителем (градирней); выход испарителя связан паропроводом с камерой смешения пароструйного компрессора первой ступени, выход по сжатому пару пароструйного компрессора первой ступени соединен первым паропроводом с сопловым аппаратом компрессора второй ступени, а вторым паропроводом с верхней частью корпуса отделителя жидкости; вход по пару второй ступени компрессора (эжектора) соединен паропроводом с регулируемым отбором паровой турбины, выход по сжатому пару этого пароструйного компрессора соединен через теплообменную поверхность водяного конденсатора и дроссель конденсата с верхней частью корпуса отделителя жидкости, а трубопроводом питательной воды соединен через питательный насос с входом котла-утилизатора; нижняя часть корпуса отделителя жидкости связана трубопроводом через дроссель неиспарившейся воды с входом теплообменной поверхности испарителя, выход которой соединен паропроводом с сопловым аппаратом пароструйного компрессора первой ступени; верхняя часть корпуса отделителя жидкости от пара связана с атмосферой через паровой эжектор отсоса газа, причем сопловый аппарат эжектора отсоса газа связан паропроводом с регулируемым отбором пара паровой турбины; нижняя часть вакуумной камеры испарителя соединена через насос водолеяной смеси, шнек и поверхность нагрева подогревателя льда с трубопроводом опресненной воды, вход корпуса подогревателя льда связан трубопроводом с выходом теплообменной поверхности водяного конденсатора, а его выход связан с трубопроводом морской воды, который через дроссель 3 и охладитель морской воды соединен с нижней частью вакуумной камеры испарителя, при этом вход теплообменной поверхности охладителя морской воды соединен с выходом теплообменной поверхности испарителя.

