

УДК 621.311

Применение фреоновых технологий на тепловых электрических станциях*

Л.Ф. ГОЛУБЕВА¹, О.К. ГРИГОРЬЕВА², А.А. ФРАНЦЕВА³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант. E-mail: lia_ibragimova@mail.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук. E-mail: ok-grigoryeva@mail.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук. E-mail: frantsevaalina@gmail.ru

Как подтверждают мировые тенденции, существенные достоинства имеют электрические станции, использующие в качестве рабочего тела цикла Ренкина низкокипящие рабочие тела. В данной статье приводятся описание и показатели эффективности двух установок, которые возможно применить на тепловых электрических станциях для повышения их общей эффективности. В обоих случаях в традиционную схему ТЭС введен фреоновый контур. Конденсационный пароводяной энергоблок надстроен фреоновым контуром, который внедрен непосредственно в термодинамический цикл для отведения тепла в конденсаторе и направлен на дополнительную выработку электроэнергии, при этом вытесняется традиционная система технического водоснабжения. При комбинированной системе теплоснабжения от ТЭС с газовым сетевым подогревателем в качестве внутриквартальных энергоустановок применяются фреоновые термотрансформаторы. Эта схема позволяет перейти на пониженный температурный график прямой и обратной сетевой воды, что повышает качество эксплуатации систем теплоснабжения, снижает их стоимость и повышает эффективность теплоснабжения потребителей. В статье обоснован выбор рабочего тела, обусловленный его озонобезопасностью, доступностью, широким применением на рынке фреоновых технологий и распространенностью компрессорного оборудования на его основе. При исследовании эффективности рассматриваемых установок и в том и в другом случае рабочим телом фреонового контура является фреон R-134a. В тексте приводятся описание принципиальных схем установок и расчетные формулы КПД, технико-экономической эффективности, а также диапазон параметров, при которых был рассчитан фреоновый контур. Приведены расчетные значения КПД и технико-экономической эффективности установок, конструктивно-компоновочных параметров фреонового контура. В заключение представлены преимущества рассмотренных фреоновых технологий на рабочем теле R-134a.

Ключевые слова: фреон, фреоновый контур, фреоновые технологии, термотрансформатор, комбинированное теплоснабжение, конденсационный энергоблок, газовый сетевой подогреватель, технико-экономическая эффективность, КПД

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-164-174

* Статья получена 05 июля 2016 г.

ВВЕДЕНИЕ

Идея применения фреоновых технологий в сфере энергетики не нова. Начиная с 1967 года, когда был осуществлен проект ГеоТЭС на Паратунском месторождении (СССР), ведется успешная работа по внедрению фреоновых технологий [1–9]. Конечно, условия для реализации такого рода проектов существенно изменились в основном из-за ужесточения требований к низкокипящим рабочим телам. Принятые международными комитетами меры по предотвращению разрушения озонового слоя и снижению парникового эффекта привели к радикальным изменениям в технологиях, использующих низкокипящие рабочие тела (НРТ) в качестве рабочих тел. В связи с этим многие широко применяемые НРТ, такие как фреон $R-12$ и $R-22$, оказались под запретом. Сегодня особое значение имеет выбор альтернативных хладагентов, у которых отсутствует озоноразрушающий потенциал ($ODP = 0$) и низкий потенциал воздействия на глобальное потепление (GWP) [2, 10].

В статье ведется описание технологий, рабочим телом которых является фреон $R-134a$. В настоящее время данный фреон является одним из лидеров на рынке НРТ. Его свойства соответствуют современным экологическим требованиям и с хорошим результатом используются во многих холодильных установках и системах кондиционирования во всем мире. Помимо применения в чистом виде $R-134a$ используется также как компонент множества смесей. Он является хлорнесодержащим, озонобезопасным фреоном. Данный фреон широко используется как заменитель ранее распространенных фреонов $R-12$ и $R-22$ [10]. Более того, данное рабочее тело имеет достаточно большой рабочий диапазон по температуре и давлению, однако вещество не лишено и недостатков, к числу которых можно отнести значительное поглощение влаги, а также способность разлагаться при касании с нагретыми поверхностями или при воздействии прямого пламени. В процессе разложения фреона образуется агрессивный, высокотоксичный продукт распада [3]. Кроме того, $R-134a$ имеет достаточно высокий потенциал воздействия на глобальное потепление $GWP = 1300$, в то же время данное значение наименьшее для распространенных в работе на сегодняшний момент фреонов [10].

Фреоновые технологии могут быть внедрены непосредственно в термодинамический цикл паротурбинной установки в качестве холодного источника, отводящего тепло в конденсаторе. При этом вытесняется традиционная система технического водоснабжения и заменяется контуром на низкокипящем рабочем теле. Данная технология позволяет повысить выработку электроэнергии без увеличения расхода топлива, тем самым повысив эффективность системы (рис. 1). Схема представляет собой надстройку конденсационного пароводяного энергоблока контуром на фреоне $R-134a$ [11, 12]. Связующим звеном между паротурбинной установкой (ПТУ) и фреоновым контуром является испаритель, установленный вместо конденсатора в традиционной части ПТУ. Отработанный водяной пар после паровой турбины поступает в испаритель, где конденсируется за счет передачи теплоты НРТ. В испарителе образуется пар хладагента с максимальными параметрами по циклу НРТ. Пар НРТ подается на фреоновую турбину для выработки дополнительной мощности, далее отработанный хладагент направляется в трубчатый конденсатор, установленный в сухой градирне, в которую подается атмосферный воздух. Сконденсировавшийся хладагент подается насосом в испаритель, тем самым образуя замкнутый контур на низкокипящем рабочем теле.

Испаритель представляет собой трехступенчатый подогреватель, где за счет подводимых потоков пара из отборов паровой турбины и отработанного пара после турбины происходит постепенный нагрев и парообразование фреона. Расчет схемы проводился с учетом параметров пара из последних отборов паровой турбины. Температура острого фреонового пара зависит от температуры отбора водяного пара с максимально-допустимыми параметрами с учетом недогрева. Результатом этого стали следующие температуры острого пара:

- для турбины К-200-130 – 165 °С;
- для турбины К-300-240 – 144 °С;
- для турбины К-500-240 – 116 °С;
- для турбины К-800-240 – 141 °С.

Давление было принято величиной постоянной.

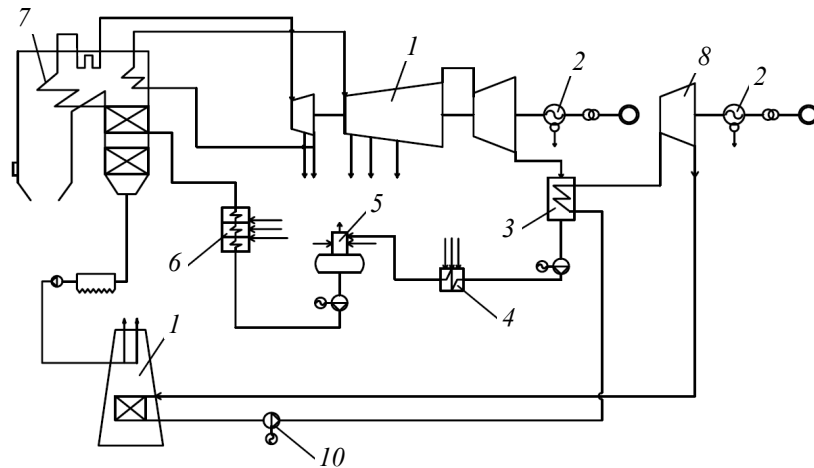


Рис. 1. Принципиальная схема конденсационного энергоблока с контуром на низкокипящем рабочем теле:

1 – паровая турбина; 2 – электрический генератор; 3 – испаритель; 4 – подогреватель низкого давления; 5 – деаэрактор; 6 – подогреватель высокого давления; 7 – котел; 8 – турбина на НРТ; 9 – сухая градирня; 10 – насос

Температура окружающей среды в данной схеме напрямую влияет на мощность энергетической установки, а в частности на контур НРТ, через температуру конденсации хладагента и, соответственно, через теплоперепад на турбине на низкокипящих рабочих телах (при постоянной температуре острого пара низкокипящих рабочих тел).

На рис. 2 представлены значения КПД для данной установки на фреоне R-134a в зависимости от температуры окружающей среды и мощностей конденсационных паровых турбин. КПД был рассчитан при мощности паровых турбин в диапазоне от 200 до 800 МВт. По температуре окружающей среды t_{oc} были взяты следующие реперные точки (характерные для г. Новосибирска):

- средняя температура наиболее холодной пятидневки –39 °С;
- средняя температура отопительного периода –9,8 °С;
- средняя температура по июлю как самому теплomu месяцу +19,4 °С.

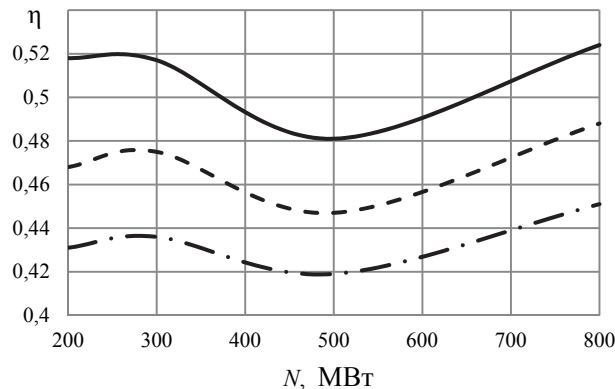


Рис. 2. КПД конденсационного энергоблока с контуром на НРТ в зависимости от мощности конденсационной турбины и температуры окружающей среды:

— $t_{oc} = -39\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{oc} = -9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; -.-.- $t_{oc} = 19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Максимальное значение КПД, достигнутое при температуре $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ и мощности паровой турбины 800 МВт, составило 0,524, а минимальное значение КПД при мощности конденсационной турбины 500 МВт и температуре окружающей среды $+19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 0,42. Провал КПД при мощности 500 МВт можно объяснить наименьшими параметрами острого фреонового пара и, соответственно, сокращением теплоперепада на фреоновой турбине. Для сравнения среднее значение КПД для пылеугольных энергоблоков составляет 36...37 % [12].

Для оценки КПД установки использовалась следующая формула:

$$\eta = \frac{N_{ТЭС} + N_{фк}}{Q_n^p B}, \quad (1)$$

где $N_{ТЭС}$ — мощность паровой конденсационной турбины, кВт; $N_{фк}$ — мощность фреонового контура, кВт; Q_n^p — теплота сгорания низшая рабочая, кДж/кг; B — расход топлива на установку, кг/с.

На рис. 3 приведены зависимости площадей теплообмена испарителя и конденсатора, которые определяются при режиме, в котором достигаются максимальные характеристики, т. е. в режиме при температуре окружающей среды $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При расчете фреоновой турбины частота вращения составила 3000 об/мин. Были рассчитаны длины лопаток ступеней фреоновой турбины, корневые и периферийные диаметры. Периферийный диаметр последних ступеней фреоновой турбины составил:

- для турбины К-200-130 — 1,099 м;
- для турбины К-300-240 — 1,224 м;
- для турбины К-500-240 — 1,658 м;
- для турбины К-800-240 — 1,991 м.

Были достигнуты следующие значения максимальной мощности, вырабатанной фреоновым контуром:

- для турбины К-200-130 – 87,9 МВт;
- для турбины К-300-240 – 101,4 МВт;
- для турбины К-500-240 – 140,2 МВт;
- для турбины К-800-240 – 243,4 МВт.

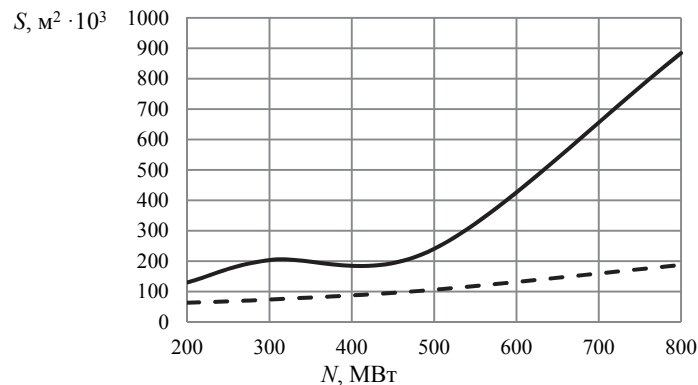


Рис. 3. Зависимость площадей теплообмена испарителя и конденсатора от мощности конденсационной турбины:

— площадь теплообмена испарителя; ----- площадь теплообмена конденсатора

Другим направлением применения фреоновых технологий является использование фреоновых термотрансформаторов при совершенствовании теплоснабжающих систем [13, 16]. При этом вытесняются пиковые водогрейные котлы (ПВК) на ТЭЦ, так как КПД ФТТ выше КПД ПВК [3, 4, 15], в системе экономится топливо на этих режимах энергоснабжения. Применение ФТТ обуславливает переход ТЭЦ на пониженный температурный график прямой и обратной сетевой воды, что уменьшает потери в трубопроводах сетевой воды, позволяет использовать для них более дешевые материалы, не подверженные коррозии и с долговесностью до 50 лет, также снижаются затраты электроэнергии на сетевые насосы. За счет перехода на пониженный температурный график почти в два раза уменьшаются теплотери в магистральных теплопроводах и возрастает КПД транспорта теплоты, что также приводит к экономии топлива [3, 4, 15].

Одной из таких схем является ТЭЦ с газовым сетевым подогревателем и фреоновыми термотрансформаторами (рис. 4). По этой схеме в течение всего года сетевая вода подогревается до 70 °С в газовом сетевом подогревателе 6 уходящими газами из газовой турбины 4. При включении отопительной нагрузки сетевая вода также параллельно подогревается в традиционном сетевом подогревателе 7 паром из теплофикационного отбора паровой турбины 5 и далее – к фреоновым термотрансформаторам. При работе термотрансформатора в составе комбинированной системы теплоснабжения сетевая вода, подводимая от ТЭЦ как основного источника теплоснабжения, охлаждается в испарителе ФТТ 8. При этом фреон испаряется. Затем пар сжимается компрессором 9 и поступает в конденсатор 10, после конденсации дросселируется. В конденсаторе 10 нагревается идущая на отопление внутриквартальная сетевая вода теплопотребителя.

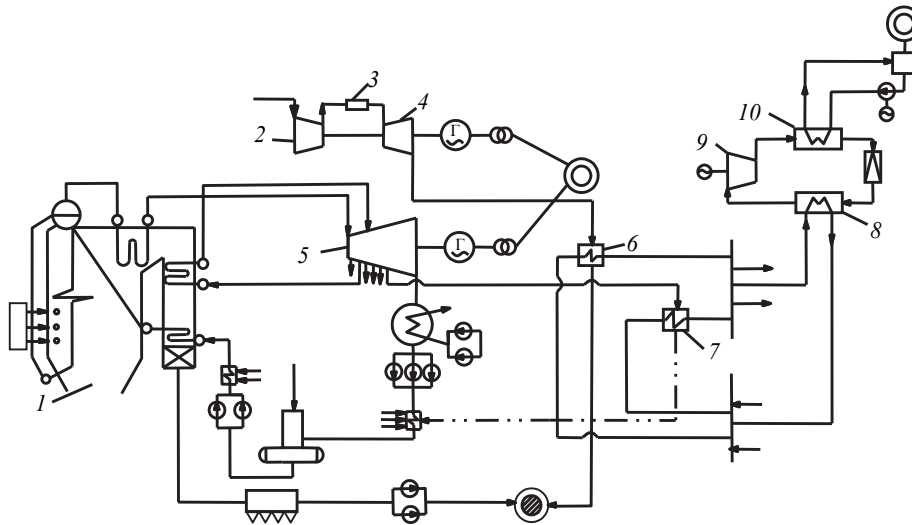


Рис. 4. Технологическая схема энергоблока ТЭЦ в системе комбинированного теплоснабжения с газосетевыми подогревателями и внутриквартальными фреоновыми термотрансформаторами:

1 – паровой котел; 2 – компрессор газотурбинной установки; 3 – камера сгорания; 4 – газовая турбина; 5 – паровая турбина; 6 – газосетевой подогреватель; 7 – традиционный сетевой подогреватель; 8 – испаритель; 9 – компрессор; 10 – конденсатор

Газовый сетевой нагреватель (ГСП) покрывает нагрузку только горячего водоснабжения. И исходя из этого условия рассчитывается количество тепла с уходящими из газовой турбины газами, а следовательно, и сопряженная мощность газотурбинной установки. Для отопительной нагрузки выполняется температурный график $70\text{ }^{\circ}\text{C}/40\text{ }^{\circ}\text{C}$ во всем диапазоне температур окружающего воздуха при количественном регулировании. Фреоновые термотрансформаторы (ФТТ) обеспечивают у теплопотребителя качественное регулирование при максимальной температуре внутриквартальной сетевой воды на уровне $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует давлению конденсации фреона $R-134a$ около 28 бар.

За счет вытеснения сетевого подогревателя возможно увеличение пропуска пара через конденсатор, что приведет к дополнительной выработке электроэнергии на тепловом потреблении. Это, в свою очередь, приведет к экономии топлива, а значит, и снижению затрат в экологической инфраструктуре и в системе топливоподготовки. Возможен вариант снижения расхода пара через голову турбины, что также приведет к экономии топлива и снижению аналогичных затрат.

При оценке технико-экономической эффективности ТЭЦ с ГСП и ФТТ используется следующий критерий [3, 4, 15]:

$$\eta_z = \frac{\sum \Pi_N N + \sum \Pi_E E_T}{\sum \lambda_4 N + \sum \lambda_6 E_T}, \quad (2)$$

где Π_N , Π_E – получаемая плата за электроэнергию и теплоэнергию в данном τ -м году, руб/(кВт · ч); N , E_T – отпущенные в τ -м году потребителю

электроэнергия и теплоэксергия, кВт·ч/г; λ_4, λ_6 – удельные затраты на отпускаемую электроэнергию и теплоэксергию.

Очевидно, что критерий эффективности должен быть больше единицы:

$$\eta_z > 1, \quad (3)$$

и чем он выше, тем эффективнее рассматриваемый вариант.

На рис. 5 представлена зависимость технико-экономической эффективности от мощности теплофикационного энергоблока. ТЭЦ с ГСП и ФТТ со всеми вариантами теплофикационных турбин можно считать рентабельными, так как критерий эффективности больше единицы. При переходе от традиционной системы теплоснабжения от ТЭЦ с ПВК к комбинированной системе теплоснабжения с ГСП и ФТТ критерий технико-экономической эффективности увеличивается в среднем на 7 %. На это оказывают влияние такие факторы, как эксергетическая эффективность блока и удельные затраты на отпускаемую электроэнергию и теплоэксергию. Применение энергоблоков с оптимальными параметрами позволяет увеличить критерий технико-экономической эффективности примерно в 1,2 раза.

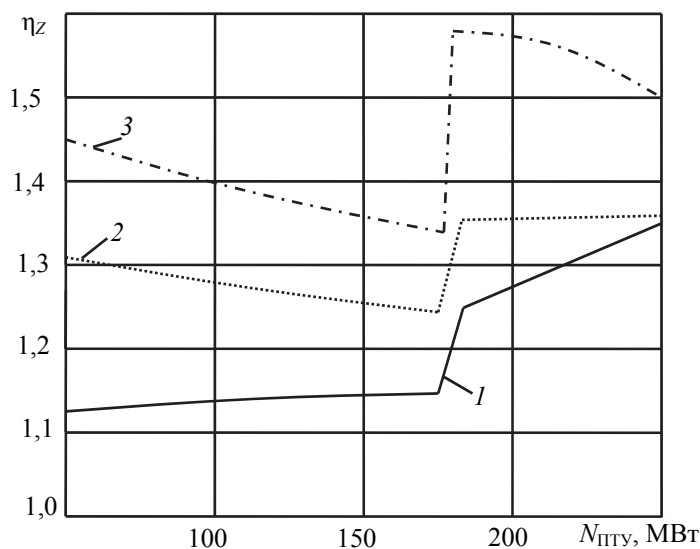


Рис. 5. Критерий технико-экономической эффективности:

- 1 – при стандартных параметрах для традиционной ТЭС с ПВК;
 2 – при стандартных параметрах ТЭЦ с ГСП и ФТТ; 3 – при оптимальных параметрах ТЭЦ с ГСП и ФТТ

Применение данных технологий на фреоне $R-134a$, описанных выше, обеспечивает значительный прирост КПД по сравнению с КПД традиционной ТЭС.

ВЫВОДЫ

1. R-134a имеет большой диапазон рабочих параметров (давление, температура), который обеспечивает широкое применение не только в вышеупомянутых установках, но и в системах кондиционирования и в среднетемпературных холодильных установках.

2. Диапазон давлений фреонового контура при внедрении его в конденсационный пароводяной энергоблок составляет, например, от 0,7 бара – давление конденсации, до 25 бар – давление острого фреонового пара. При использовании фреонового контура в системах теплоснабжения давление конденсации находится в пределах 25...30 бар, а давление испарения – 6...9 бар.

3. Одна из ключевых причин выбора фреона R-134a как рабочего тела заключается в большом перечне производителей, которые обеспечивают максимально широкую линейку оборудования именно для этого фреона. К примеру, немецкая фирма Bitzer с апреля 2013 года начала выпуск новой линии поршневых компрессоров NewEcoline, в том числе и на фреоне R-134a. Корпус компрессоров рассчитан на рабочее давление до 32 бар, что соответствует температуре насыщения около 85 °C [17].

4. Рассмотренные технологии внедрения фреоновых технологий позволяют повысить КПД по сравнению с традиционной ПТУ в 1,28–1,44 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Использование фреонов в энергетических установках: сборник трудов / А.М. Сухотин, И.А. Семерикова, В.Н. Москвичева, Ю.М. Петин. – Новосибирск: Ин-т теплофизики, 1973. – С. 4–28.
2. Техничко-экономические показатели новой технологии комбинированного энергоснабжения с ПГУ и термотрансформаторами / Г.В. Ноздренко, О.К. Григорьева, А.А. Францева, В.А. Серант, В.Г. Томилов, Ю.В. Овчинников // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2012. – № 1. – С. 112–115.
3. Ноздренко Г.В., Щинников П.А. Комплексный эксергетический анализ энергоблоков ТЭС с новыми технологиями: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – 190 с.
4. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями: монография / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов, Ю.В. Овчинников, А.А. Ловцов, П.Ю. Коваленко, Н.Г. Зыкова, О.А. Вихман, И.В. Бородихин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 528 с.
5. Андриященко А.И. Комбинирование теплофикационных систем – способ повышения экономичности и надежности теплоснабжения // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 1995. – № 1–3. – С. 12–14.
6. Андриященко А.И. Комбинированные системы энергоснабжения // Теплоэнергетика. – 1997. – № 5. – С. 2–6.
7. Дорожная карта достижения целей технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» [Электронный ресурс] / ОАО «ВТИ». – М., 2012. – 146 с. – URL: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2016/17762/3479.pdf> (дата обращения: 19.12.2016).
8. Курьянов А.А. Эффективность ПГУ с фреоновой паротурбинной ступенью // Энергетика и теплотехника: сборник научных трудов / под ред. В.Е. Накорякова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – Вып. 16. – С. 73–79.
9. Шпильрайн Э.Э. Возможность использования теплового насоса на ТЭЦ // Теплоэнергетика. – 2003. – № 7. – С. 54–55.
10. Обзор хладагентов [Электронный ресурс]. – Изд. 13. А-501-13. – 35 с. – URL: http://sholod72.ru/wp-content/uploads/2013/12/Review_refrigerant.pdf (дата обращения: 19.12.2016).

11. Патент 147328 Российская Федерация. Теплоэнергетическая установка / О.К. Григорьева, Л.Ф. Ибрагимова, Г.В. Ноздренко. – № 2014117393; заявл. 29.04.14; опубл. 10.11.14, Бюл. № 31. – 3 с.

12. Ибрагимова Л.Ф. Конденсационный энергоблок с фреоновой ступенью и термодинамические характеристики фреонового цикла // Энергетика и теплотехника. – Новосибирск, 2015. – Вып. 19. – С. 76–80.

13. Патент 110459 Российская Федерация. Система централизованного теплоснабжения / О.К. Григорьева, А.А. Францева, Г.В. Ноздренко. – № 2011128340/12; заявл. 08.07.2011; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. – 3 с.

14. Андрущенко А.И. Сравнительная эффективность применения тепловых насосов для централизованного теплоснабжения // Промышленная энергетика. – 1997. – № 6. – С. 2–4.

15. Обоснование направлений развития пылеугольных ТЭЦ с новыми ресурсосберегающими технологиями / В.Г. Томилов, П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.В. Зыков. – Новосибирск: Наука, 2000. – 152 с.

16. Францева А.А. Оптимизационные исследования ТЭЦ с газосетевым подогревателем и фреоновыми термотрансформаторами: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 111 с.

17. Встречаем новое поколение поршневых компрессоров Битцер NewEcoline [Электронный ресурс]. – URL: http://bitzer.ru/vstrechaem_novoe_pokolenie_porshnevih_kompressorov_bitcer_NEW_ECOLINE_ (дата обращения: 19.12.2016).

Голубева Лия Фаридовна, аспирант кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – применение фреоновых технологий на ТЭС. Имеет более 10 публикаций. E-mail: lia_ibragimova@mail.ru

Григорьева Оксана Константиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – ТЭС с новыми технологиями, энергосбережение. Имеет более 45 публикаций. E-mail: ok-grigoryeva@mail.ru

Францева Алина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – комбинированные системы теплоснабжения, энергосбережение. Имеет более 20 публикаций. E-mail: frantsevaalina@gmail.ru

The application of Freon technologies at heat power stations*

L.F. GOLUBEVA¹, O.K. GRIGORYEVA², A.A. FRANTSEVA³

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student, E-mail: lia_ibragimova@mail.ru

² Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), E-mail: ok-grigoryeva@mail.ru

³ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng.), E-mail: frantsevaalina@gmail.ru

As confirmed by global trends, heat power plants that use low boiling working fluids as the Rankine cycle working medium have important advantages. The description and efficiency indices of two power units which can be used at heat power stations for increasing their efficiency are given in the paper. In both cases a Freon circuit is built into a traditional power plant layout. One of the units is a condensation steam-water power unit with a low-temperature reaction mass circuit, which is built in the thermodynamic cycle for heat dissipation and which can

* Received 05 July 2016.

provide extra electricity generation. The second unit is a power unit in a combined heating system with a gas network heater. Freon thermotransformers are used as intra-power plants. This scheme makes it possible to switch to a low-temperature regime of direct and return heating system water, which improves the quality of the heating system maintenance, reduces the cost and enhances the efficiency of consumer heat supply. When studying the efficiency of the unit, Freon R-134a was chosen as a working medium. The selection of R-134a is determined by its ozone-safety, its availability and wide use on the Freon technology market as well as a wide application of compressor equipment based on this medium. The paper presents the description of schematic diagrams of the units, formulae of efficiency calculation, efficiency values and structural layout parameters of Freon circuits. The conclusion shows advantages of Freon technologies that use on Freon R-134a as a working medium.

Keywords: Freon, Freon circuit, Freon technologies, thermotransformer, combined heating, condensation power unit, gas network heater, technical and economic efficiency, effectiveness

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-164-174

REFERENCES

1. Sukhotin A., Semerikova I., Moskvicheva V., Petin Y. *Ispol'zovanie freonov v energeticheskikh ustanovkakh* [The use of freons in power plants]. Novosibirsk, Institute of Thermophysics Publ., 1973, pp. 4–28.
2. Nozdrenko G.V., Grigoryeva O.K., Frantseva A.A., Serant F.A., Tomilov V.G., Ovchinnikov U.V. Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli novoi tekhnologii kombinirovannogo energosnabzheniya s PGU i termotransformatorami [Techno-economic indicators new technology combined heat supply with steam gas plant and thermotransformer]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2012, no. 1, pp. 112–115.
3. Nozdrenko G.V., Shchinnikov P.A. *Kompleksnyi eksergeticheskii analiz energoblokov TES s novymi tekhnologiyami* [Complex energy analysis of power units of heat power plants based on new technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2009. 190 p.
4. Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Tomilov V.G., Ovchinnikov Yu.V., Lovtsov A.A., Kovalenko P.Yu., Zykova N.G., Vikhman O.A., Borodikhin I.V. *Kompleksnye issledovaniya TES s novymi tekhnologiyami* [Complex study heat and power plant with new technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2005. 528 p.
5. Andryushchenko A.I. Kombinirovaniye teplofikatsionnykh sistem – sposob povysheniya ekonomichnosti i nadezhnosti teplosnabzheniya [Combining heating systems – a way to increase the efficiency and reliability of heat supply]. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG – Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*, 1995, no. 1–3, pp. 12–14.
6. Andryushchenko A.I. Kombinirovannye sistemy energosnabzheniya [Combined heating systems]. *Teploenergetika – Thermal Engineering*, 1997, no. 5, pp. 2–6. (In Russian)
7. Dorozhnaya karta dostizheniya tselei tekhnologicheskoi platformy "Ekologicheski chistaya teplovaya energetika vysokoi effektivnosti" [Roadmap achievements of goals of technology platform "Environmentally friendly thermal power high efficiency"]. All-Russia thermal engineering institute. Moscow, 2012. 146 p. Available at: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2016/17762/3479.pdf> (accessed 19.12.2016).
8. Kur'yanov A.A. [PSU Efficiency with freon turbine stage]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Novosibirsk, 2011, iss. 16, pp. 73–79. (In Russian)
9. Shpil'rain E.E. Vozmozhnost' ispol'zovaniya teplovogo nasosa na TETs [The possibility of using heat pumps in heat and power plants]. *Teploenergetika – Thermal Engineering*, 2003, no. 7, pp. 54–55. (In Russian)

10. *Obzor khladagentov* [Refrigerant report]. Ed. 13. A-501-13. 35 p. (In Russian) Available at: http://s-holod72.ru/wp-content/uploads/2013/12/Review_refrigerant.pdf (accessed 19.12.2016)
11. Grigor'eva O.K., Ibragimova L.F., Nozdrenko G.V. *Teploenergeticheskaya ustanovka* [Thermal power plants]. Patent RF, no. 147328, 2014.
12. Ibragimova L.F. [Condensing unit with freon stage and thermodynamic characteristics of the freon cycle]. *Energetika i teplotekhnika* [Power engineering and heat engineering]. Novosibirsk, 2015, iss. 19, pp. 76–80. (In Russian)
13. Grigor'eva O.K., Frantseva A.A., Nozdrenko G.V. *Sistema tsentralizovannogo teplosnabzheniya* [District heating system]. Patent RF, no. 110459, 2011.
14. Andryushchenko A.I. Sravnitel'naya effektivnost' primeneniya teplovykh nasosov dlya tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Comparative efficiency of heat pumps for district heating]. *Teploenergetika – Thermal Engineering*, 1997, no. 6, pp. 2–4. (In Russian)
15. Tomilov V.G., Shchinnikov P.A., Nozdrenko G.V., Zykov V.V. *Obosnovanie napravlenii razvitiya pyleugol'nykh TETs s novymi resursoberegayushchimi tekhnologiyami* [Substantiation of directions of development of coal-fired thermal power station with a new resource-saving technologies]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2000. 152 p.
16. Frantseva A.A. *Optimizatsionnye issledovaniya TETs s gazosetevym podogrevatelem i freonovymi termotransformatorami*: diss. kand. tekhn. nauk [Optimization studies of the heat and power plant with gaz-net heater and freon thermotransformers. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2015. 111 p.
17. *Vstrechaem novoe pokolenie porshnevnykh kompressorov Bittser NewEcoline* [Meet the new generation of piston compressors Bitzer NevEcoline]. Available at: http://bitzer.ru/vstrechaem_novoe_pokolenie_porshnevnykh_kompressorov_bitzer_NEW_ECOLINE (accessed 19.12.2016)