

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬГЕНЕРАТОРОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРИГЕНЕРАЦИИ

Проаналізована ефективність використання ежекторних тепло-використовуючих холодильних машин, що утилізують теплоту відхідних газів і наддувочного повітря та привідних двигунів дизельгенераторів для охолодження зовнішнього повітря на їх вході. Показано, що в результаті переходу дизельгенераторів когенераційного типу на тригенерацію з вироботкою холоду можливо значне підвищення ефективності всієї установки.

Ключові слова: ефективність, ежекторна тепловикористовуюча холодильна машина, установка.

Проанализирована эффективность применения ежекторных тепло-использующих холодильных машин, утилизирующих теплоту уходящих газов и наддувочного воздуха приводных двигателей дизельгенераторов для охлаждения наружного воздуха на их входе. Показано, что в результате перехода дизельгенераторов когенерационного типа на тригенерацию с выработкой холода возможно значительное повышение эффективности всей установки.

Ключевые слова: эффективность, ежекторная теплоиспользующая холодильная машина, утилизация теплоты, уходящие газы, установка.

The effectiveness of application of ejector waste heat recovery refrigeration machines, utilizing the heat of exhaust gases and scavenge air of driven engines of diesel generators for cooling an ambient air at their inlet, has been analyzed. It was shown, that due to the transforming of diesel generators of cogenerative type into trigenerative one the effectiveness of the whole plant can be increased significantly.

Keywords: effectiveness, ejector waste heat recovery refrigeration machines, utilizing the heat, diesel generators, trigeneration, plant.

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

В качестве дизельгенераторов (ДГ) используются в основном двигатели внутреннего сгорания (ДВС) с наддувом. При необходимости получения помимо электрической еще и тепловой энергии применяются ДГ с пароводяными или водогрейными утилизационными котлами (УК), использующими теплоту уходящих газов. В таких случаях ДГ представляют собой установки когенерационного типа.

Эффективность ДГ существенно зависит от температуры воздуха на входе наддувочных турбокомпрессоров (ТК). С повышением температуры воздуха на 10 °С КПД ДГ снижается на 0,5...0,7 %, а мощность – на 5...7 % [1; 2]. Понижить температуру воздуха на входе и за счет

этого повысить КПД и мощность можно с помощью теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ), вырабатывающих холод за счет сбросной теплоты ДГ: теплоты уходящих газов, наддувочного воздуха или обоих источников одновременно [3]. Производство холода позволяет обеспечить круглогодичную нагрузку теплоутилизационного контура и за счет этого существенно повысить эффективность ДГ, что особенно важно в теплое время, когда потребность в тепловой энергии сведена до минимума. Такие когенерационные ДГ, дополненные ТХМ, представляют собой установки тригенерационного типа. В качестве рабочего тела ТХМ обычно применяются низкокипящие рабочие тела (НРТ).

Эффективность применения ТХМ в ДГ целесообразно оценивать по приращению их КПД $\bar{\eta}$ и мощности \bar{N} , которое зависит от снижения температуры Dt_v воздуха на входе ТК за счет его охлаждения в ТХМ. Величина Dt_v зависит от располагаемого теплосодержания уходящих газов, используемого в ТХМ для выработки холода, и прежде всего их температуры на входе ТХМ.

Цель работы – оценка эффективности применения в ДГ тригенерации на базе ТХМ, вырабатывающей холод для снижения температуры воздуха на входе ДГ в теплое время.

2. Оценка эффективности применения теплоиспользующих холодильных машин, утилизирующих сбросную теплоту дизельгенераторов для охлаждения наружного воздуха на входе двигателей

Конструктивной простотой и надежностью эксплуатации отличаются ТХМ эжекторного типа. Функцию компрессора в них выполняет эжектор и единственным устройством с наличием движущихся элементов является насос. Схема эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов приводного ДВС для охлаждения наружного воздуха на входе его ТК, представлена на рис. 1.

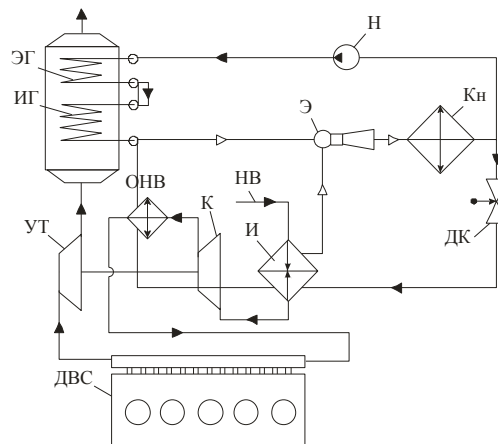


Рис. 1. Схема эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов для охлаждения наружного воздуха на входе приводного ДВС:

К – компрессор ТК; УТ – утилизационная турбина ТК; ОНВ – охладитель наддувочного воздуха водяной; ЭГ и ИГ – экономайзерная и испарительная секции генератора паров НРТ; Э – эжектор; Кн – конденсатор НРТ; Н – насос НРТ; ДК – дроссельный клапан; И – испаритель НРТ-воздухоохладитель; НВ – наружный воздух

Эжекторная ТХМ работает следующим образом. Теплота уходящих газов приводного ДВС подводится к НРТ в генераторе паров НРТ. Генератор состоит из экономайзерной секции ЭГ, в которой происходит нагрев жидкого НРТ от температуры конденсации t_c до температуры кипения НРТ t_k , и испарительной секции ИГ, где НРТ кипит при высоких температуре t_k и давлении. Образовавшиеся в генераторе пары НРТ высокого давления расширяются в сопле эжектора и подсасывают пары низкого давления из испарителя И, сжимая их до промежуточного давления конденсации. Конденсация паров НРТ в конденсаторе Кн происходит за счет отвода теплоты к охлаждающей среде – воде или воздуху. Жидкий НРТ

после конденсатора делится на два потока: первый – подается насосом в генератор, где он нагревается (в экономайзерной секции ЭГ) и испаряется (в испарительной секции ИГ), а второй – дросселируется в дроссельном клапане ДК и направляется в испаритель И, где он испаряется при низком давлении и соответственно температуре, отводя теплоту от наружного воздуха на входе двигателя. Пары НРТ всасываются из И эжектором и подаются снова в конденсатор. Таким образом, эжектор совмещает функции детандера (расширение пара происходит в его сопле) и компрессора (повышение давления пара, всасываемого из испарителя И, происходит в камере смешения и диффузоре эжектора).

Оценку эффективности применения ТХМ в ДГ будем производить по приращениям КПД $\bar{\eta}$ и мощности \bar{N} , которые зависят от снижения температуры воздуха Δt_b на входе приводных ДВС. В свою очередь, величина Δt_b зависит от количества теплоты, отводимой от уходящих газов, т. е. от разности температур газов на входе t_{r1} и выходе t_{r2} генератора ТХМ: $\Delta t_{yr} = t_{r1} - t_{r2}$.

Температура уходящих газов t_{r1} на входе генератора ТХМ (после утилизационной турбины наддувочного турбокомпрессора) для среднеоборотных ДВС составляет около 350 °С. Температуру уходящих газов после генератора t_{r2} принимают, как правило, 160 °С, исходя из условия предотвращения сернистой коррозии.

Снижение температуры воздуха на входе двигателя Δt_b в результате его охлаждения в ТХМ, использующей теплоту уходящих газов, и соответствующие приращения КПД $\bar{\eta}$ и мощности \bar{N} двигателя в зависимости от температуры кипения НРТ в генераторе t_r при температуре уходящих газов перед генератором ТХМ $t_{r1} = 350$ °С и после генератора $t_{r2} = 160$ °С, кипения НРТ в испарителе $t_0 = 0$ °С и конденсации $t_k = 35$ °С приведены на рис. 2. В качестве НРТ применен озонобезопасный хладагент R142В. При расчете приращения КПД $\bar{\eta}$ и мощности \bar{N} двигателя исходили из того, что каждые 10 °С снижения температуры воздуха Δt_b на входе ТК приводят к повышению КПД двигателя на 0,5 % и мощности на 5 % [1; 2].

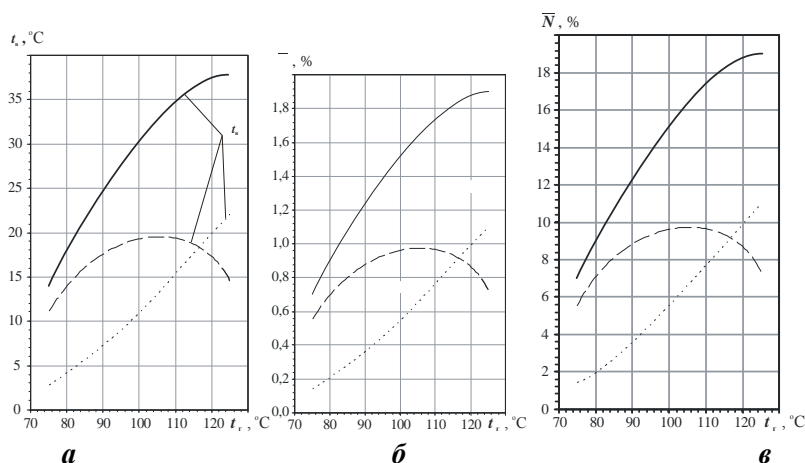


Рис. 2. Снижение температуры воздуха на входе турбокомпрессора Δt_b (а) и приращение КПД $\bar{\eta}$ (б) и мощности \bar{N} (в) двигателя в зависимости от температуры кипения НРТ в генераторе t_r при температуре уходящих газов перед генератором ТХМ $t_{r1} = 350$ °С и кипения НРТ в испарителе $t_0 = 0$ °С; — — за счет отвода теплоты генератором в целом; — — — испарительной секцией генератора; - экономайзерной секцией

Как видно, в результате снижения температуры воздуха на входе на величину $\Delta t_b \approx 35$ °С происходит увеличение КПД η приводного двигателя (соответственного и ДГ в целом) примерно на 1,5...2 % и мощности N – на 15...20 %. Из графиков на рис. 2а следует, что значения снижения температуры воздуха Δt_b за счет отвода теплоты низкотемпературной

экономайзерной и высокотемпературной испарительной секциями генератора ТХМ примерно одинаковы, что указывает на направление дальнейшего повышения эффективности применения ТХМ в ДГ путем использования в высокотемпературной испарительной секции генератора всего располагаемого теплового потенциала уходящих газов, а в низкотемпературной экономайзерной – других источников теплоты, например, наддувочного воздуха, охлаждающей ДВС воды.

Схема эжекторной ТХМ с размещением испарительной секции генератора на уходящих газах, а экономайзерной – на наддувочном воздухе представлена на рис. 3, а результаты расчета эффективности ее применения в ДГ в виде снижения температуры воздуха на входе двигателя Δt_v и соответствующих приращений КПД $\bar{\eta}$ и мощности \bar{N} двигателя – на рис. 4.

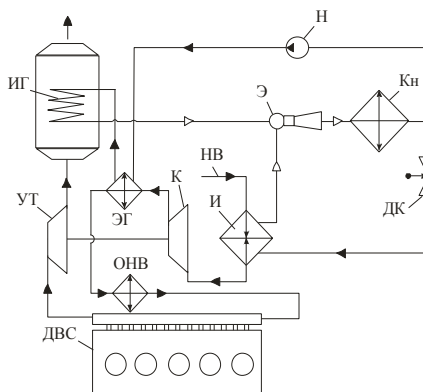


Рис. 3. Схема эжекторной ТХМ, использующей теплоту уходящих газов и наддувочного воздуха для охлаждения наружного воздуха на входе приводного ДВС:

К – компрессор ТК; УТ – утилизационная турбина ТК; ОНВ – охладитель наддувочного воздуха водяной; ЭГ и ИГ – экономайзерная и испарительная секции генератора паров НРТ; Э – эжектор; Кн – конденсатор НРТ; Н – насос НРТ; ДК – дроссельный клапан; И – испаритель НРТ-воздухоохладитель; НВ – наружный воздух

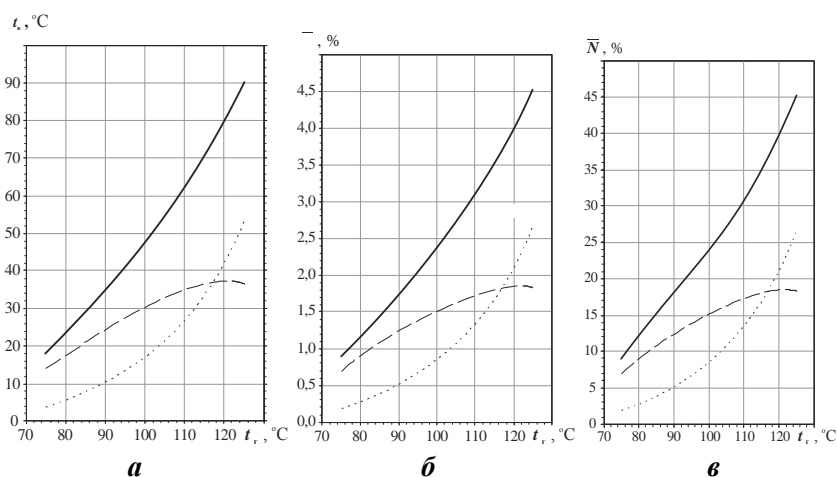


Рис. 4. Снижение температуры воздуха на входе турбокомпрессора Δt_v (а) и приращение КПД $\bar{\eta}$ (б) и мощности \bar{N} (в) двигателя в зависимости от температуры кипения НРТ в генераторе t_r при температуре уходящих газов перед генератором ТХМ $t_{r1} = 350$ °С и кипения НРТ в испарителе $t_0 = 0$ °С: — — за счет отвода теплоты генератором в целом; - - - - испарительной секцией генератора; — экономайзерной секцией

Рис. 4а показывает, что в практически реальном диапазоне изменения температур кипения НРТ в генераторе, $t_r = 100...120$ °С, снижение температуры воздуха на входе двигателя составляет $\Delta t_v = 50...90$ °С. Понятно, что даже при максимальной исходной температуре

наружного воздуха, например 50...90 °С, ее снижение возможно не ниже, чем до 10 °С (при $t_0 = 0$ °С), т. е. на величину $\Delta t_b = 40$ °С, намного меньшую потенциально возможной Δt_b . В результате этого КПД двигателя η увеличивается на 2,5...3,0 % и мощность N – на 25...30 %.

Избыточная же холодопроизводительность ТХМ (сверх расходуемой для охлаждения наружного воздуха на входе) может быть использована для глубокого, дополнительно к водяному охлаждению, снижения температуры наддувочного воздуха, а также для уменьшения температуры вентиляционного воздуха, направляемого на охлаждение электрогенератора, в результате чего будет иметь место повышение энергетической эффективности всей электрогенерирующей установки.

3. Выводы

1. Предложен переход ДГ когенерационного типа на тригенерацию путем использования их сбросной теплоты для охлаждения наружного воздуха на входе приводных ДВС.

2. Установлено, что применение ТХМ, утилизирующей теплоту уходящих газов ДГ для охлаждения наружного воздуха на входе приводного двигателя, обеспечивает повышение КПД двигателя на 1,5...2,0 % и мощности на 15...20 %.

3. Показано, что использование в ТХМ дополнительно к теплоте уходящих газов еще и теплоты наддувочного воздуха позволяет увеличить КПД двигателя на 2,5...3,0 % и мощности на 25...30 % по сравнению с базовым вариантом без ТХМ. Имеющийся при этом избыток холода целесообразно задействовать для снижения температуры наддувочного воздуха приводного ДВС и вентиляционного воздуха, применяемого для охлаждения электрогенератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005. – http://www.mandiesel.com/files/news/files0f762/5510-0005.00pr_low.pdf
2. MAN B&W. Project Guide. Two-stroke Engines. MC Programme. Vol. 1: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 1986.
3. Сирота А.А., Радченко А.Н., Коновалов Д.В., Радченко Н.И. Тригенерационные системы комплексного использования сбросной теплоты судовых дизелей // Вестник двигателестроения. – 2008. – № 2. – С. 68-72.
4. Исследование выполнено в рамках гранта Президента Украины (Розпорядження Президента України про призначення грантів Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2009 рік від 16.12.2008 р. № 336/2008-рп).

Рецензенти: д.т.н., професор Віршубський І.М.,
к.т.н., доцент Чегринцев Ф.А.

© Радченко А.Н., Коновалов А.В., 2009

Стаття надійшла до редколегії 06.05.09.