

УДК 621.43.068

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА ИЗ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ БЕЗВЫБРОСНОЙ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

В.Н. Бганцев, ст. научн. сотр., к.т.н.,
ИПМаш имени А.Н. Подгорного НАН Украины

Аннотация. Рассмотрены особенности процесса конденсации водяного пара из отработавших газов дизельного двигателя безвыбросной автотранспортной установки. Определены пути повышения его эффективности и возможные варианты осуществления.

Ключевые слова: безвыбросная автотранспортная установка, насыщенный водяной пар, теплообменное устройство.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДЕНСАЦІЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ З ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ БЕЗВИКИДНОЇ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

В.М. Бганцев, ст. наук. співр., к.т.н., ИПМаш імені А.М. Підгорного НАН України

Анотація. Розглянуто особливості процесу конденсації водяної пари з відпрацьованих газів дизельного двигуна безвикидної автотранспортної установки. Визначено шляхи підвищення його ефективності та можливі варіанти здійснення.

Ключові слова: безвикидна автотранспортна установка, насичена водяна пара, пристрій теплообміну.

INCREASING EFFICIENCY OF WATER STEAM CONDENSATION FROM EXHAUSTED GASES OF DIESEL ENGINE OF EXHAUST FREE MOTOR TRANSPORT POWER INSTALLATION

V. Bgantsev, senior researcher, Candidate of Technical Science,
IPMash A. Podgornogo NAS of Ukraine

Abstract. Peculiarities of water steam condensation process from exhausted gases of diesel engine of exhaust free motor transport power installation have been considered. Methods of increasing its efficiency and possible variants of realization have been determined.

Key words: exhaust free motor transport power installation, saturated water steam, heat exchanging device.

Введение

Среди ряда важных вопросов, связанных с организацией работы дизельного двигателя в условиях ограниченной или отсутствующей связи с окружающей средой в составе автотранспортной установки (АТУ) [1], рассматривается конденсация водяного пара из отработавших газов (ОГ). Этот продукт сгорания

дизельного топлива является избыточным в контуре циркуляции газовой смеси и поэтому подлежит удалению из него. Стехиометрически образующееся количество водяного пара составляет $G_{H_2O} = 1,134 \cdot G_T$, где G_T – расход топлива дизелем, и, таким образом, напрямую связано с режимом его работы. Это также определяет объёмную долю водяного пара в потоке неохлаждённых ОГ. Уда-

лить избыточный водяной пар из ОГ можно путём снижения их температуры до температуры насыщения водяного пара. При дальнейшем снижении температуры происходит процесс его конденсации. Температура насыщения водяного пара однозначно связана с его парциальным давлением в потоке ОГ причём чем оно ниже, тем ниже и температура насыщения. В результате аппроксимации экспериментально полученных значений давления насыщения водяного пара в зависимости от его температуры уравнением вида $y = ax^b + c$ получено следующее уравнение для диапазона температур 30 – 100 °С

$$p_{S_{H_2O}} = 1,4638 \cdot 10^{-8} \cdot t_{S_{H_2O}}^{3,41} + 0,0029 \text{ МПа,}$$

где $p_{S_{H_2O}}$, $t_{S_{H_2O}}$ – соответственно давление и температура насыщенного водяного пара.

Температура насыщения водяного пара в ОГ для дизелей без наддува, в которых давление газовой смеси в контуре циркуляции не превышает обычно 10 % атмосферного давления, составляет в диапазоне режимов от холостого хода до номинального 11 – 45 °С. В дизелях с наддувом из-за более значительных давлений газовой смеси в контуре циркуляции значение $t_{S_{H_2O}}$ находится в пределах 25–65 °С. Как видно, при малых нагрузках дизеля для конденсации водяного пара из ОГ необходимо достаточно глубокое их охлаждение, что трудно осуществимо и, по всей видимости, нерационально.

Анализ публикаций

В выполненных конструкциях установок температуру охлаждённых ОГ обычно поддерживают на определённом уровне, который может быть обеспечен выбранным охлаждающим устройством. При этом установленной температуре ОГ будет соответствовать вполне определённое значение парциального давления водяного пара и объёмное содержание его в циркулирующей газовой смеси.

Охлаждение ОГ осуществляют в теплообменных аппаратах поверхностного или смешительного типов [2]. Отобранное от ОГ тепло в когенерационных установках отдаётся теплоносителю во внешнем контуре охлаждения и направляется на бытовые нужды, а в

АТУ направляется в мембранный реактор для получения кислорода. Принципиальное значение имеет выбор теплообменного аппарата для охлаждения ОГ, так как от этого будет зависеть эффективность конденсации содержащегося в ОГ водяного пара [3, 4].

В теплообменниках поверхностного типа конденсация водяного пара ОГ, в зависимости от режима работы дизеля и температуры теплоносителя, может начаться непосредственно на теплопередающих поверхностях после достижения температуры насыщения. Однако если температура теплоносителя достаточно высока, тогда водяной пар ОГ останется в перегретом состоянии и конденсации его в теплообменнике не произойдёт. Важное значение для процесса конденсации имеет состояние теплопередающих поверхностей теплообменника, ввиду того, что появление на них загрязнений и отложений снижает значения коэффициента теплоотдачи и в общем эффективность образования конденсата водяного пара.

В этом отношении ОГ дизеля представляют собой достаточно агрессивную среду, содержащую частицы несгоревшего топлива, смазочного масла, серную кислоту, обусловленную наличием в дизельном топливе серы, и ряд других компонентов, агрессивных по отношению к теплопередающим поверхностям.

Эти вещества, загрязняя с течением времени теплообменник, в итоге будут приводить к увеличению содержания водяного пара в циркулирующей газовой смеси, т.е. изменению состава рабочего тела, участвующего в рабочем цикле дизельного двигателя. Поддерживать эффективность работы теплообменника как конденсатора влаги из ОГ дизеля в этом случае возможно лишь путём снижения температуры теплоносителя или увеличения его расхода через теплообменник, что не всегда возможно осуществить. Очистка внутренних поверхностей теплообменника также может оказаться невозможной из-за необходимости остановки энергоагрегата, в составе которого работает дизель, например, по причине непрерывности энергообеспечения предполагаемого объекта.

Цель и постановка задачи

Повышение эффективности охлаждения ОГ дизеля и конденсации содержащегося в них

водяного пара за счёт использования схем интенсивного теплообмена между теплоносителями.

Результаты исследования

В поверхностных теплообменниках в основном реализуется капельная конденсация водяного пара на гидрофобной поверхности. Как отмечалось выше, обусловлено это наличием загрязнений на ней и, как следствие, невозможностью образования плёнки конденсата. При высоких температурах ОГ возникают проблемы, связанные с надёжностью кожуха теплообменника, если конденсация происходит в межтрубном пространстве, и надёжностью крепления труб в трубной доске при конденсации в трубах.

Интенсифицировать теплообмен между теплоносителями и, соответственно, повысить эффективность конденсации водяного пара из ОГ можно путём использования смешительных теплообменных устройств. По отношению к ОГ процессы тепло- и массообмена в них протекают совместно. Причём среда является двухфазной, а конденсация водяного пара протекает из многокомпонентной парогазовой смеси.

Одна из возможных схем системы охлаждения ОГ с применением смешительного теплообменника приведена на рис. 1.

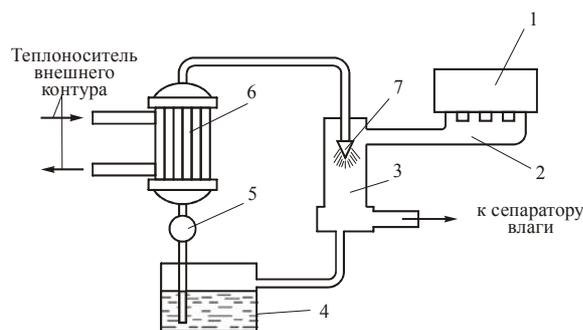


Рис. 1. Схема смешительного охлаждения отработавших газов дизеля: 1 – дизель; 2 – выпускной коллектор; 3 – охладитель отработавших газов; 4 – сборник воды; 5 – циркуляционный насос; 6 – теплообменник внешнего контура; 7 – водяная форсунка

Охлаждение ОГ осуществляется путём впрыска в их поток воды с помощью форсунки 7. Расход охлаждающей воды выбирается так,

чтобы минимизировать парообразование и обеспечить конденсацию влаги из ОГ.

Нагретая ОГ вода собирается в накопительном баке 4 и затем направляется циркуляционным насосом 5 в теплообменник 6, охлаждаемый теплоносителем внешнего контура охлаждения. В когенерационной установке теплота, отобранная от воды в теплообменнике 6, может быть использована для разных технологических процессов и бытовых нужд.

Интенсивность теплообмена между теплоносителями в смешительном теплообменнике может быть увеличена за счёт применения разнообразных насадок, например, беспорядочно уложенных колец, пропеллерных, седлообразных и хордовых насадок.

Важными характеристиками смешительного теплообменника, определяющими его эффективность, являются средний расчётный диаметр капле орошающей воды и плотность орошения, которые зависят, соответственно, от давления воды перед форсункой и общего расхода охлаждающей воды.

Коэффициент теплоотдачи от газа к капле можно определить по формуле А.В. Нестеренко [5]

$$Nu = 2 + 1,05 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \cdot Gu^{0,175},$$

где $Nu = ad/\lambda$ – число Нуссельта; a – коэффициент теплоотдачи, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$; d – диаметр капли, м; λ – коэффициент теплопроводности газа при средней температуре поверхности капле, $Вт/(м \cdot ^\circ C)$; $Re = wd/\nu$ – число Рейнольдса; w – действительная скорость падения капли, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости газа при его средней температуре, $м^2/с$; $Pr = \nu/a$ – число Прандтля; Gu – число Гухмана, связанное с относительной влажностью газа.

Значения коэффициентов теплопередачи при охлаждении ОГ в смешительных теплообменниках выше, чем в теплообменниках поверхностного типа.

Достаточно эффективным способом повышения интенсивности тепло- и массообменных процессов при конденсации является использование электрических полей [6]. Отдельными авторами показано увеличение

скорости конденсации водяного пара в электрическом поле в 3 – 6 раз. В связи с этим данный метод интенсификации может быть применён в системах охлаждения ОГ и конденсации содержащегося в них водяного пара безвыбросной АТУ.

Выводы

Среди основных преимуществ использования смесительных теплообменников перед поверхностными в системах охлаждения ОГ дизеля когенерационной установки или АТУ можно выделить следующие:

1. Возможность гибкого регулирования системы охлаждения ОГ путём изменения расхода распыливаемой воды – теплоносителя. Процесс может быть автоматизирован путём введения системы управления циркуляционным насосом.
2. Значительное снижение концентрации всех загрязняющих теплообменник внешнего контура веществ за счёт осаждения их в объёме жидкости, находящейся в накопительном баке. Для большей эффективности перед теплообменником внешнего контура может быть установлен простой механический фильтр.
3. Использование сепараторов влаги меньших объёмов, так как основная часть конденсата водяного пара ОГ отводится вместе с орошающей водой в накопительный бак.
4. Меньшая конструктивная металлоёмкость смесительных теплообменников уменьшает их стоимость в сравнении с поверхностными теплообменниками.

Приведенные рассуждения позволяют рассматривать смесительные системы охлаждения и сепарации влаги из ОГ дизелей, работающих в условиях ограниченной связи с атмосферой, как наиболее эффективные.

Литература

1. Сазонов Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / Б.В. Сазонов, В.И. Ситас. – М. : Энергоиздат, 1990. – 304 с.
2. Голубков Б.Н. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий / Б.Н. Голубков, О.Л. Данилов, Л.В. Зосимовский. – М. : Энергия, 1972. – 424 с.
3. Справочник по теплообменникам: в 2-х т. Т. 1, 2 : пер. с англ. ; под ред. Б.С. Петушкова, В.К. Шикова. – М.: Энергоиздат, 1987. – 560 с.
4. Yantovski E. ZEMPES (Zero Emissions Membrane Piston Engine System) / E. Yantovski, M. Shokotov // 2nd Annual Conf. On Carbon Dioxide Sequestration, May 5–8, 2003, Alexandria, VA, USA.
5. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчётов вентиляции и кондиционирования воздуха / А.В. Нестеренко. – М. : Высшая школа, 1971. – 262 с.
6. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии / Г.А. Кардашев. – М. : Химия, 1990. – 208 с.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 14 июня 2011 г.