

Эколого-теплоэнергетический рекуператор для подогрева воздуха

В. И. Чеботарев, А. В. Королева

Ростовский государственный строительный университет

Аннотация: Рассматривается эколого-теплоэнергетический рекуператор для подогрева воздуха, позволяющий за счет создания струйного турбулизирующего потока нагреваемого воздуха достичь положительного эффекта по теплообмену и в последующем снизить выход вредностей в продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу.

Ключевые слова: энергосбережение; экология; теплообмен; тепловой баланс; температура; утилизация теплоты; природный газ.

Использование газообразного топлива в различных отраслях народного хозяйства является неотъемлемым сопутствующим процессом жизнедеятельности города как антропогенной экосистемы. Ежегодное значительное увеличение потребления газообразного топлива и, порой низкая эффективность технических решений по утилизации теплоты продуктов сгорания, приводит к ухудшению воздушной среды в зонах проживания населения, особенно при увеличении производительности теплогенерирующих установок с образованием повышенного количества вредных компонентов в продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу [1-3]. При этом, как правило, экологическое оздоровление окружающей среды при использовании газа происходит за счет подавления вредных компонентов в процессе сжигания природного газа. Такой метод требует дополнительное технологическое оборудование, что резко снижает эффективность использования топлива. Альтернативным методом уменьшения вредностей, загрязняющих атмосферу, является применение солнечной энергии, геотермальных вод [4], а также метод снижения объёмов сжигания природного газа за счет утилизации теплоты в продуктах сгорания, который обеспечивает не только снижение вредностей в продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу, но и создает условия повышения

энергосбережения при топочных процессах теплогенерирующих установок, за счет подогрева воздуха в рекуператоре [5,6].

Указанный метод наиболее эффективен, так как не только снижается выброс вредных веществ в атмосферу, но и повышается энергосбережение, что является весьма важным фактором, позволяющим одновременно решать две проблемы – экологическую и теплоэнергетическую [7,8].

В данной статье рассматривается теоретическое обоснование утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания природного газа, т.е. подогрев воздуха в рекуператоре. В последующем подогретый воздух подается к газовым горелкам теплогенерирующей установки [9,10].

Для решения изложенной проблемной эколого-теплоэнергетической задачи, рассмотрим традиционное уравнение теплового баланса теплогенерирующей установки:

$$Q_{\text{пр}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 \quad (1)$$

После преобразования уравнения (1), получим новые промежуточные уравнения, описывающие тепловой баланс теплогенерирующей установки, в которой происходит утилизация теплоты продуктов сгорания природного газа:

$$Q_{\text{пр}} = V_{\text{г}} * Q_{\text{н}} \quad (2)$$

$$\Delta Q = V_{\text{в}} * C_{\text{р}} * T_{\text{в}} \quad (3)$$

$$\Delta V_{\text{г}} * Q_{\text{н}} = V_{\text{в}} * C_{\text{р}} * T_{\text{в}} \quad (4)$$

Уравнение теплового баланса с учетом использования рекуператора для подогрева воздуха в теплогенерирующей установке :

$$(V_{\text{г}} * Q_{\text{н}} - \Delta V_{\text{г}} * Q_{\text{н}}) + V_{\text{в}} * C_{\text{р}} * T_{\text{в}} = (Q_1 + V_{\text{в}} * C_{\text{р}} * T_{\text{в}}) + (Q_2 - V_{\text{в}} * C_{\text{р}} * T_{\text{в}}) + Q_3 + Q_5 \quad (5)$$

В уравнении (5) теплового баланса теплогенерирующей установки с использованием рекуператора для нагрева воздуха, поступающего к газовым

горелкам, входят следующие теоретические преобразования, по которым определяют экономии природного газа (%) (6), сокращение потребляемого количества газа (экономия) (7) и снижение количества продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу (8), т.е. улучшение экологической обстановки в зоне использования теплоэнергетической установки.

Экономия топлива (газа) в % определяется по следующей формуле и зависит от количества и температуры нагреваемого воздуха:

$$\Xi = ((V_v * C_p * T_v) / (V_r * Q_n)) * 100 \quad (6)$$

Экономия топлива (газа) в м³*ч определяется по формуле и зависит от коэффициента избытка воздуха при сжигании природного газа в теплогенерирующей установке.

$$\Delta V_r = (V_v * C_p * T_v) / Q_n \quad (7)$$

Сокращение объемов продуктов сгорания природного газа, выбрасываемых в окружающую среду, обеспечивает оздоровление воздушного бассейна (экологическая проблема).

$$\Sigma V_{пр.г.} = \Delta V_r * \alpha * V_r \quad (8)$$

где : $Q_{пр}$ - приход теплоты в топочную камеру теплогенерирующей установки за счет использования природного газа, (МДж); Q_1 - полезно использованная теплота продуктов сгорания, (МДж/ч); Q_2 - теплота, теряемая в окружающую среду за счет выброса продуктов сгорания, (МДж/час); Q_3 - теплота, образующаяся в результате недожога топлива, (МДж/ч); Q_5 - теплота, теряемая в окружающую среду теплогенерирующей установкой, (МДж/ч); V_r - объём природного газа, используемого в теплогенерирующей установке, (м³*ч); Q_n - низшая теплота сгорания природного газа, (МДж); ΔQ - количество теплоты, полученное в рекуператоре при нагреве воздуха, (МДж/ч); V_v - объём воздуха, нагреваемый в рекуператоре, (м³*ч); C_p -

средняя удельная теплоёмкость нагреваемого воздуха, (кДж/м³*°C); T_в – температура нагретого воздуха, (°C);

ΔV_{Γ} – объём природного газа, полученного в результате подогрева воздуха, поступающего к горелкам, (м³*ч); Э – экономия природного газа за счёт подогрева воздуха, выраженная в %; $\Sigma V_{\text{пр.г.}}$ – суммарный объём продуктов сгорания, который не выброшен в атмосферу, за счёт сэкономленного ΔV_{Γ} природного газа; α - коэффициент избытка воздуха в топочной камере теплогенерирующей установки.

Для определения надежности применения формул (6), (7) и (8) выполнена апробация (методом расчета) с учетом следующих исходных данных: температура продуктов сгорания перед рекуператором T_{пр} = 1000 °C, температура нагреваемого воздуха T_в = 200 °C, удельная теплоемкость воздуха C_p = 4,5 кДж/(м³* °C), объём нагреваемого воздуха в рекуператоре V_в = 4200 м³/ч, объём сжигаемого природного газа V_г = 500 м³/ч, (без учета подогрева воздуха), низшая теплота сгорания природного газа Q_н = 33,6 МДж/м³, коэффициент избытка воздуха при сжигании природного газа α = 1,10. Экономия природного газа в %:

$$\text{Э} = ((4200 * 0,0045 * 299) / (500 * 33,6)) * 100 = 22,5\%$$

Экономия природного газа в м³:

$$\Delta V_{\Gamma} = (4200 * 0,0045 * 200) / 336 = 112,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Сокращение объёмов продуктов сгорания, выбрасываемых в окружающую среду в м³/ч:

$$\Sigma V_{\text{пр.г.}} = 112,5 * 1,10 * 9,52 = 1178 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Анализ выполненного расчета позволяет утверждать, что при использовании рекуператора в теплогенерирующих установках для утилизации теплоты продуктов сгорания природного газа, достигается экономия газообразного топлива, а также обеспечивается оздоровление окружающей среды.



В зависимости от периода работы теплогенерирующей установки с утилизацией теплоты продуктов сгорания природного газа, можно уточнить суточную, месячную и годовую эколого-теплоэнергетическую эффективность.

Литература

1. Чеботарев В.И., Новгородский Е.Е., Иванов С.П. Радиационный рекуператор. // Патент №2154238 РФ МКИ А 23 F 15/04. Опубл.10.08.2000. Бюль. №22.

2. Новгородский Е.Е., Широков В.А., Шанин Б.В., Дятлов В.А. Комплексное энерготехнологическое использование газа и охрана воздушного бассейна. М.: Дело, 1997. 368 с.

3. Чеботарев В.И., Новгородский Е.Е., Трубников А.А. Снижение вредных выбросов в атмосферу при использовании природного газа в промышленности. // Научное обозрение, 2014 г., №7 URL: sced.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=107%3A-q&catid=21&Itemid=18.

4. Лысова Е.П. Выбор критериев оценки эффективности мероприятий по обеспечению экологической безопасности предприятий топливно-энергетического комплекса. // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1965.

5. Страхова Н.А., Горлова Н.Ю. Концепция энергоресурсосберегающей деятельности в промышленности // Инженерный вестник Дона, 2011, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/3593.

6. Беспалов В.И., Котлярова Е.В. Формирование методологических подходов к расчету экономического, экологического и социального критериев оценки состояния окружающей среды территорий промышленных зон крупных городов. // Материалы международной научно-практической



конференции «Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение», вып.13.- Ростов н/Д: изд-во РГСУ, 2011. С. 26-29.

7. Новгородский Е.Е., Горлова Н.Ю. Оптимизация использования вторичных тепловых энергоресурсов. // Известия РГСУ, 2010, №14. с.122-125

8. Шанин Б.В., Новгородский Е.Е., Чеботарев В.И., Горлова Н.Ю. Повышение экологической эффективности энергосбережения на примере теплогенерирующих установок. // «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе» №4, М.:2012. С. 21-24.

9. Manning W. J., Feder W. A. Biomonitoring Air Pollutants with Plants (Pollution Monitoring Series) // London : Applied Science Publishers Ltd., 1980. pp. 1–135.

10. How Valve Manufacturers Help Maintain Geothermal Power Plants // GWC USA Inc. URL: gwcvalve.com/news/industrynews.php.

References

1. Chebotarev V.I., Novgorodskij E.E., Ivanov S.P. Radiacionnyj rekuperator. [Radial recuperator]. Patent №2154238 RF MKI A 23 F 15/04.

2. Novgorodskij E.E., Shirokov V.A., Shanin B.V., Djatlov V.A. Kompleksnoe energotekhnologicheskoe ispol'zovanie gaza i ohrana vozdušnogo bassejna [Complex energotechnological gas usage and air-pollution control]. М.: Delo, 1997. 368 p.

3. Chebotarev V.I., Novgorodskij E.E., Trubnikov A.A. Nauchnoe obozrenie, 2014 g., №7 URL: sced.ru/ru/index.php?option=com_content&view=article&id=107%3A-q&catid=21&Itemid=18.

4. Lysova E.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1965.

5. Strahova N.A., Gorlova N.J. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/3593.



6. Bepalov V.I., Kotljarova E.V. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Tehnosfernaja bezopasnost', nadezhnost', kachestvo, energosberezhenie», v.13. Rostov n/D: RGSU, 2011. pp. 26-29.
7. Novgorodskij E.E., Gorlova N.J. Izvestija RGSU, 2010, №14. pp.122-125
8. Shanin B.V., Novgorodskij E.E., Chebotarev V.I., Gorlova N.J. Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse, 2012, №4, pp. 21-24.
9. Manning W. J., Feder W. A. Biomonitoring Air Pollutants with Plants (Pollution Monitoring Series). London : Applied Science Publishers Ltd., 1980. pp. 1–135.
10. How Valve Manufacturers Help Maintain Geothermal Power Plants. GWC USA Inc. URL: gwcvalve.com/news/industrynews.php.