

## Определение возможного энергетического потенциала параметров уходящих газов котельных предприятий сервиса при использовании вторичных энергоресурсов

*А.Г. Илиев, Н.И. Стуженко, Е.М. Данилова*

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета, г. Шахты, Ростовская обл.*

**Аннотация:** В данной статье предлагается методика определения вредности загрязняющих веществ, образующихся при эксплуатации котельного оборудования, и рассматриваются способы использования теплоты энергетических отходов, образующихся при эксплуатации тепловых установок котельных, в качестве греющего теплоносителя.

**Ключевые слова:** ресурсы, энергия, теплоноситель, загрязняющие вещества, теплоемкость, энергосбережение.

В условиях ограниченности природных ресурсов одной из наиболее эффективных мер по их охране является разработка и внедрение технологий, обеспечивающих максимально полное использование ресурсов, минимизацию потерь на всех этапах: при добыче, переработке и получении конечного продукта. Вопросам безотходного использования полезных ископаемых на этапах добычи и переработки посвящен ряд трудов [1,2], в то время как использование тепловых отходов на этапе получения конечного продукта - тепловой энергии на предприятиях сервиса остается недостаточно изученным.

Проведение теоретических и экспериментальных исследований тепловых процессов предприятий сервиса, направлены на их совершенствование путём применения энергосберегающих технологий и оборудования в технологических процессах и энергетических системах предприятия.

Наличие тепловых отходов и низкий уровень их использования в технологических процессах, системах отопительно-вентиляционных и

системах горячего водоснабжения подразумевает решение вопроса организации малоотходной или безотходной системы теплотехнологии (БСТТ), обеспечивающей использование ВЭР, как в точках теплоснабжения, так и в источниках теплоснабжения.

Возможность использования низкопотенциальной теплоты (тепловых отходов) определяется многими факторами, в том числе структурой и производительностью предприятия. Удельные показатели выхода тепловых ВЭР предприятия определяются, как отношение  $Q_{ВЭР}$  за определённый промежуток времени (час, смена, год) к производительности предприятия  $N$  или объёму реализуемой продукции в рублях.

$$q_{ВЫХ} = Q_{ВЭР} / N, \quad \frac{\text{кДж}}{\text{ед.прод}} \quad (1)$$

Выход тепловых ВЭР - это количество ВЭР, образующихся в процессе производства за единицу времени. В общем виде удельный расход ВЭР -  $q_{ВЫХ}$  определяется произведением удельного количества теплоносителя  $m$  на его энергетический потенциал  $\Pi$ .

$$q_{ВЫХ} = m\Pi, \quad (2)$$

Удельное количество теплоносителя  $m$  и его энергетический потенциал  $\Pi$  определяются видом теплоносителя [3,4].

Энергетический потенциал тепловых отходов – это количество теплоты в объёме промышленных стоков, образующейся в процессе производства (услуг) на единицу продукции (кг, т, шт) или в рублях, кДж/кг:

$$\Pi = C_p t_c, \quad (3)$$

где  $\Pi$  - энергетический потенциал теплоносителя.

$C_p$  – массовая изобарная теплоемкость пара, кДж/кг град;

$t_c$  – температура пара, °С.

Пролетный пар - несконденсировавшийся пар, содержащийся в конденсате. Удельное его количество, т.е. количество в 1 кг конденсата находится по формуле:

$$m_{np} = \xi \sqrt{p_1 - p_2} \quad \text{при } p_2 \geq 0,577p_1 \quad (4)$$

или

$$m_{np} = 0,5\xi \sqrt{p_1 - p_2} \quad \text{при } p_2 < 0,577p_1 \quad (5)$$

где  $\xi$  - доля пролетного пара массы конденсата при перепаде давления в 0,102 МПа (1 атм), в расчетах можно принимать  $\xi = 0,02$ ;

$P_1, P_2$  - давление до конденсатоотводчика и за ним [5].

Энергетический потенциал этого теплоносителя определяется энтальпией пара, поступающего в парoisпользующую установку, т.е.

$$\Pi_1 = i'_1 + r_1 x, \text{ кДж/кг.} \quad (6)$$

где  $i'_1$  - энтальпия конденсата при давлении в установке, кДж/кг;

$r_1$  - теплота парообразования при том же давлении, кДж/кг;

$x$  - степень сухости пара, применяется равной значениям от 0,95 + 0,97.

Энергетический потенциал  $\Pi$  определяется энтальпией вторичного пара

$$\Pi = i_2 + r_2 x_1, \text{ кДж/кг} \quad (7)$$

Формула (2) приобретает вид:

$$q_{\text{ВЫХ2}} = \frac{i'_1 - i'_2}{r_2} (r'_2 + r_2 x) \text{ кДж/кг} \quad (8)$$

Количество конденсата, образующегося после использования греющего пара в теплоиспользующем оборудовании, определяется по формуле:

$$m_K = (1 - m_{PP} - m_{II}^{BT}) \quad (9)$$

Энергетический потенциал этого теплоносителя равен

$$II = i'_{2} \text{ кДж/кг} \quad (10)$$

где  $i'_{2}$  - энтальпия конденсата после пароиспользующего оборудования [6].

Удельные потери тепла с конденсатом определяются по формуле:

$$q_{ВЫХЗ} = m_K i'_{2} \text{ кДж/кг} \quad (11)$$

С целью совершенствования процессов энергосбережения в плане использования теплового потенциала газозвдушной смеси в качестве ВЭР в данной статье рассматривается способ расчета параметров газозвдушной смеси, выбрасываемой котельными предприятий легкой промышленности и бытового обслуживания.

Основными видами загрязняющих веществ, входящих в состав дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу котельными бытового обслуживания населения, являются:

- пыль нетоксичная, ПДК=0,15 мг/м<sup>3</sup>;
- сернистый ангидрид, ПДК=0,05 мг/м<sup>3</sup>;
- окись углерода, ПДК=1,0 мг/м<sup>3</sup>;
- двуокись азота, ПДК=0,085 мг/м .

При расчете концентраций загрязняющих веществ в атмосфере должны использоваться максимальные фактические выбросы источников загрязнений. Поэтому фактические выбросы котельных рассчитываются по номинальной производительности котлов. [7]

Расчетный расход топлива:

$$B = \frac{1,1 \sum Q_P}{3,6 Q_H^P \eta_{KV}}, \text{Г/с}, \quad (12)$$

где  $Q_P$  - тепловая производительность котельной, кДж/ч (определяется как сумма номинальных производительностей котлов);

$Q_H^P$  - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг (определяется по справочным данным);

$\eta_{KV}$  - К.П.Д. котлоагрегата; при установке в котельной котлов с различными К.П.Д. в качестве расчетного принимается средневзвешенное значение.

Объем дымовых газов

$$V = \frac{V_G^O + (\alpha - 1)V_0}{10^3} B \frac{T_G}{273}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (13)$$

где  $V_G^O$  - объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/кг;

$V_0$  - теоретически необходимый расход воздуха, м<sup>3</sup>/кг;

$\alpha$  - коэффициент избытка воздуха в топке.

Значения  $V_G^O$  и  $V_0$  принимаются в зависимости от марки топлива, а  $\alpha$  - в зависимости от типа топки в соответствии со справочными данными.

Количество пыли, выбрасываемой в атмосферу

$$M_n = 0,01 B \alpha_{yH} \left( A^P + q_1 \frac{Q_H^P}{7800} \right), \text{ г/с} \quad (14)$$

где  $\alpha_{yH}$  - доля золы топлива, уносимая газами;

$A^P$  - зольность топлива на рабочую массу, %

$q_1$  - потери тепла с механическим недожогом, %.

Значения  $\alpha_{yH}$  и  $q$  определяются в зависимости от типа топочного устройства, а  $A^P$  - в зависимости от марки топлива по справочным данным [8,9].

При сжигании мазута количество пыли, выбрасываемой котельными установками, определяется по формуле:

$$M_n = 0,01 A^P B, \text{ г/с.} \quad (15)$$

При сжигании газообразных топлив

$$M_H=0.$$

Для установок, оснащенных золоулавливающими устройствами, количество выбрасываемой в атмосферу пыли  $M_{\Pi}$  определяется по формуле:

$$M_n^I = M_n \frac{100 - \eta_{оч}}{100}, \text{ г/с} \quad (16)$$

где  $\eta_{оч}$  - К.П.Д. очистных устройств.

Выбросы сернистого ангидрида зависят от содержания «горючей» серы в топливе. Проведенные рядом организация исследования позволяют принять коэффициент перехода серы топлива в  $SO_2$  равным 0,95.

С учетом этого количества  $SO_2$ :

$$M_{SO_2} = 0,019S^P \cdot B, \text{ г/с}, \quad (17)$$

где  $S^P$  - содержание топлива на рабочую массу, %.

Значение  $S^P$  может быть определено в зависимости от марки топлива по справочным данным.

Количество окислов азота, образующихся при сжигании топлива, приближенно рассчитывается по формуле

$$M_{NOX} = 2,05 \cdot 10^{-5} \cdot K \cdot C_{NOX} \cdot Q_{H^P} B, \text{ г/с} \quad (18)$$

где  $K$  - коэффициент, характеризующий зависимость объема продуктов сгорания от вида топлива и имеющий для различных топлив следующие значения:

- антрациты  $K= 1,15$ ;
- тощие угли  $K= 1,17$ ;
- бурые угли  $K = ( 1 , 08 - 0 , 89 ) \frac{W^P}{100}$  (здесь влажность рабочей массы топлива, %).
- жидкие топлива, газы  $K=1$ ;

$C_{NOx}$  - максимальная объемная концентрация  $NO_x$  при номинальных нагрузках котлоагрегатов, имеющая следующие значения:

- слоевые топки  $C_{NOx} = 0,05 + 0,06\%$ ;
- камерные топки  $C_{NOx} = 0,045 + 0,05\%$ .

Весовое количество окиси углерода

$$M_{CO} = 2q_2 V, \text{ г/с}, \quad (19)$$

где  $q_2$  - потери тепла от химической неполноты горения топлива, %.

Для твердых топлив  $q_2$  определяется по, а для жидких принимается равной  $q_2 = 0,5\%$ . [ 10, 11 ]

Средняя скорость выхода дымовых газов

$$W = \frac{4V_1}{\pi D^2}, \text{ м/с} \quad (20)$$

где  $D$  - расчетный диаметр дымовой трубы, м.

При наличии нескольких дымовых труб:

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2}, \text{ м}. \quad (21)$$

Приведенная методика позволяет определить расчетный расход топлива, объем дымовых газов, количество вредных примесей выбрасываемых в атмосферу при функционировании котельной предприятий. Эти данные позволят рассмотреть целесообразность дальнейшего проведения теоретических и экспериментальных исследований тепловых процессов, осуществляемых на теплоёмких предприятиях сервиса для выявления рационального уровня использования теплового потенциала технологических теплоносителей.

Современная тенденция повышения эффективности использования энергоресурсов служит индикатором развития научно-технического и экономического потенциала, рационального применения ВЭР. Реализация научно-технических разработок по утилизации тепловых отходов теплоиспользующих технологических процессов обуславливает уменьшение

себестоимости услуг и выполнение необходимых требований по внедрению технологий использования в качестве ВЭР теплового потенциала.

### Литература

1. Голик В.И., Прокопов А.Ю., Базавова О.В. Разработка основ высокоэффективной технологии утилизации отходов горно-обогатительной переработки руд КМА // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2168](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2168)
2. Голик В.И., Масленников С.А., Разоренов Ю.И. Концепция утилизации отходов обогащения металлсодержащего минерального сырья // Цветная металлургия. - 2014. - №2. – С. 36-44.
3. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Масленников С.А. Охрана природной геологической среды утилизацией хвостов обогащения руд // Известия Томского политехнического университета. 2015. – Т. 326. – № 6. – С. 6-15.
4. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Volume 10, Number 16 (2015) pp. 6787-6792.
5. Занина, И А. Влияние конструктивных параметров теплообменного аппарата на эффективность использования теплового потенциала горячих промышленных сточных вод в качестве вторичных энергоресурсов / И А.Занина, А.Г. Илиев// Наука и Образование в XXI веке: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 1 апреля 2013 г. В 6 частях. Часть IV/. Мин обр. и науки – М.: «АР-Консалт» 2013г. – с. 144-148.
6. Занина И.А., Илиев А.Г. Определение возможного теплового потенциала сточных вод предприятий сервиса с учетом потерь тепловой энергии.

- //Сборник научных трудов Sworld.- Выпуск 4. Том 16. Одесса: Куприенко С.В., 2013. с. 98-102
7. Колесников И.В. Трибоэлектрические явления на фрикционном металлополимерном контакте и их зависимости от температуры //Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2607
8. Pavlenko A.N., Tairov E.A., Zhukov V.E., Levin A.A., Moiseev M.I. Dynamics of transient processes at liquid boiling-up in the conditions of free convection and forced flow in a channel under nonstationary heat release // Journal Of Engineering Thermophysics, Pleiades Publishing, Ltd. 2014 №3, pp.173-193.
9. Владыкин И.Р., Баженов В.А., Кондратьева Н.П. Применение цилиндрического линейного асинхронного двигателя в электроприводе масляного выключателя ВМП-10 // Инженерный вестник Дона, 2012, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/801
10. Grebneva O.A., Novitskii N.N. Optimal planning and processing of the results of tests for hydraulic and heat losses in heat systems //Pleiades Publishing, Ltd. 2014 № 10 pp.754-759.
11. Илиев А.Г. Определение ПДВ и способы очистки дымовых газов при осуществлении нагрева рабочего теплоносителя в системе отопления предприятий сервиса // Материали за 9-а международна научна практична конференция, «Achievement of high school», 2013. Том 46, с. 52-58

### References

1. Golik V.I., Prokopov A.Ju., Bazavova O.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2168.
2. Golik V.I., Maslennikov S.A., Razorenov Ju.I. Cvetnaja metallurgija. 2014. №2. pp. 36-44.



3. Golik V.I., Razorenov Ju.I., Maslennikov S.A. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2015. T. 326. № 6. pp. 6-15.
4. Molev M.D., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Volume 10, Number 16 (2015) pp. 6787-6792.
5. Zanina, I A. Nauka i Obrazovanie v XXI veke: Sbornik nauchnyih trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 1 aprelya 2013 g. V 6 chastyah. Chast IV. Min obr. i nauki. M.: «AR-Konsalt» 2013g. pp. 144-148.
6. Zanina I. A., A. Iliev, Sbornik nauchnykh trudov Sworld. Vypusk 4. Tom 16. Odessa: Kuprienko S.T., 2013. pp. 98-102
7. Kolesnikov I.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2607](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2607)
8. Pavlenko A. N. Dynamics of transient processes at liquid boiling-up in the conditions of free convection and forced flow in a channel under nonstationary heat release. Journal of Engineering Thermo physics, Pleiades Publishing, Ltd. 2014 No. 3, pp.173-193.
9. Vladykin I. R., Bazhenov, C. A., Kondrat'eva N. P. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/801](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/801)
10. Grebneva O. A., Optimal planning and processing of the results of tests for hydraulic and heat losses in heat systems. Pleiades Publishing, Ltd. 2014 No. 10 pp.754-759.
11. Iliev, A. G., Materiali za 9-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya, «Achievement of high school», 2013. Tom 46, pp.52-58