

## Методика расчета эффективности использования тепловых вторичных энергоресурсов без изменения агрегатного состояния промышленных сточных вод

М.С. Плешко<sup>1</sup>, А.Г. Илиев<sup>2</sup>, И.А. Занина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ростовский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup>Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) Донского государственного технического университета, г. Шахты, Ростовская обл.

**Аннотация:** В статье рассмотрена методика определения эффективности использования теплового потенциала промышленных сточных вод, образующихся при осуществлении теплоиспользующих технологических процессов предприятий сервиса, в качестве вторичных энергоресурсов. Проведен системный анализ технологических режимных карт стирки белья с целью выявления энергетического потенциала сточных вод. На основе анализа условий эксплуатации технологического теплоиспользующего оборудования составлен тепловой баланс теплоиспользующего технологического оборудования

**Ключевые слова:** Энергосбережение, тепловой баланс, энергия, пар, жидкость, сточные воды, тепловой потенциал

Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологический ущерб от его использования, развитие рыночных отношений, изменение структур предприятий коммунального хозяйства, резкое повышение (в десятки раз) стоимости теплоэнергетических ресурсов, острая конкуренция в сфере услуг, диктуют необходимость новых разработок в сфере использования энергетического потенциала тепловых отходов в качестве источника тепловой энергии в технологических теплоиспользующих процессах предприятий сервиса, а именно, применение вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и разработку способов его рационального использования.

Существенный потенциал ВЭР для применения в энергосберегающих системах теплоснабжения представляет собой тепловая энергия

промышленных сточных вод. В плане выполнения Энергетической программы Российской Федерации до 2020 г. с целью реализации потенциала технологического энергосбережения следует уделить внимание теплоёмким предприятиям коммунального хозяйства, в том числе фабрике-прачечной. Технологическое оборудование фабрик - прачечных можно рассматривать как теплоиспользующее оборудование, т.е. как теплообменные аппараты. Стиральные машины представляют собой смесительные теплообменники, в которых происходит нагревание рабочей жидкости (водопроводной воды) паром путём барботажного подогрева или электроподогрева. В любом случае, в результате технологических процессов стирки присутствуют промышленные горячие стоки, имеющие определенный тепловой потенциал, который можно использовать в локальной системе подогрева рабочего теплоносителя горячими промстоками в дополнительном теплообменнике.

На основе системного анализа технологических режимных карт стирки белья можно сделать следующие выводы:

-расход воды на стирку 1 кг белья, а значит и количество горячих промстоков, составляет 38-40 л;

-средневзвешенная температура промстоков от стирки составляет 60-75<sup>0</sup>С;

На основе анализа условий эксплуатации технологического теплоиспользующего оборудования составлен тепловой баланс стиральных машин:

$$Q_{CM} = Q_B + Q_V + Q_M + Q_O + Q_{II} + Q_C, \quad (1)$$

где  $Q_B$  – расход тепла на нагрев белья;

$Q_V$  – расход тепла на нагрев воды;

$Q_M$  –потери тепла на разогрев металлических частей машины соприкасающихся с жидкостью и бельём;

$Q_O$  – потери тепла нагретыми поверхностями машины в окружающую среду;

---

$Q_{И}$  – потери тепла на испарение жидкости из машины.

$Q_{С}$  - потери теплоты с промышленными стоками.

По уравнениям теплообмена можно определить все составляющие формулы (1) и процент потерь теплоты с промстоками, который составляет 40-45% от  $Q_{СМ}$

Тепловой потенциал промстоков –  $Q_{ВЫХ}$  определяется по формуле (2):

$$Q_{ВЫХ} = \rho C_p G_C t_C, \text{ кДж /ч;} \quad (2)$$

$\rho$  -плотность промышленных стоков, кг/м<sup>3</sup>

$C_p$  – массовая изобарная теплоемкость промышленных стоков, кДж/кг·град

$t_C$  – температура промышленных стоков, °С;

$G_C^Г$  - расход промышленных стоков, м<sup>3</sup>/ч [1,2].

Таким образом, при годовом расходе промышленных стоков определяется по формуле (3):

$$Q_{ВЫХ}^Г \rho C_p \cdot G_C^Г \cdot t_C = \rho C_p \cdot N^Г \cdot g \cdot t_C; \text{ ГДж/год,} \quad (3)$$

где  $G_C = N^Г \cdot g$ ;

$N^Г$  – производительность предприятия, кг /год или т./год;

$g$  – норма расхода рабочего теплоносителя (воды) на 1 т стирки белья, м<sup>3</sup> ;

Количество ВЭР, за вычетом потерь  $Q_{ПОТ}$  и низкопотенциальной теплоты на сброс в конечной точке системы  $Q_{КОН}$ , можно определить по формуле (4):

$$Q_{ВЭР}^Г = (Q_{ВЫХ} - Q_{ПОТ} - Q_{КОН}) \tau \approx (0,70- 0,75) Q_{ВЫХ}^Г; \text{ Гкал/г,} \quad (4)$$

где  $Q_{ПОТ}$  - количество неизбежных тепловых потерь, принимаемых в пределах 3 ÷ 5% от  $Q_{ВЫХ}$ ;

$Q_{КОН}$  – количество теплоты, теряемое с теплоносителем выходящим из конечной точки системы составляет 20 – 25 %.

Таким образом  $Q_{ВЭР} < Q_{ВЫХ}$  и составляет  $Q_{ВЭР} = (0,7-0,75)Q_{ВЫХ}$

Удельный показатель по ВЭР для предприятия любой производительности определяется по формуле (5):

$$q_{ВЭР} = \frac{0,75Q_{ВЫХ}}{N^Г} = \frac{Q_{ВЭР}}{N^Г}, \frac{ГДж}{1т} \left[ \frac{Гкал}{1т} \right], \quad (5)$$

где:  $Q_{ВЫХ}$  – годовой выход тепловых вторичных энергоресурсов;

$N^Г$  – годовые показатели – производительность фабрики (объемы стирки белья т/год).

В вариантах с собственным источником теплоснабжения (отопительно-производственной котельной) можно определить количество сэкономленного топлива за счет использования ВЭР по формуле (6):

$$B_{эк} = \frac{Q_{ВЭР} \tau}{Q_n^p} = \frac{(Q_{вых} - Q_{пот} - Q_{кон}) \tau}{Q_n^p}, \frac{м}{год} \quad (6)$$

Степень использования вторичных энергетических ресурсов  $Q_{ВЭР}$  зависит от структуры предприятия, схемы использования теплоты ВЭР и направления их использования в системах: технологического теплоснабжения, горячего водоснабжения, приточной вентиляции и вне основного производства [3,4].

Для более подробного анализа рассмотрения технологического процесса, при осуществлении которого необходим теплоноситель с водяным эквивалентом  $W$  и температурой  $t$ . Исходная температура теплоносителя  $t^I$ . Таким образом, для обеспечения рассматриваемого технологического процесса теплоносителем необходимых параметров, этот теплоноситель необходимо нагреть от температуры  $t^I$  до температуры  $t$ . Предполагается, что нагрев осуществляется насыщенным водяным паром с температурой  $t_s$ .

Одновременно, в результате выполнения каких-то технологических процессов имеется сток с водяным эквивалентом  $W_c$  и температурой  $t_c^I$ , причем  $t_c^I > t^I$ . Представляется целесообразным рассмотреть вопрос об ис-

пользовании тепла стока для предварительного подогрева теплоносителя, а также об оптимальной глубине охлаждения стока.

Оптимальной глубиной охлаждения целесообразно считать такую, при которой приведенные затраты на осуществление тепловой подготовки теплоносителя будут минимальными.

Для извлечения тепловой энергии с целью её дальнейшего использования в качестве вторичных энергоресурсов рекомендуется использовать дополнительный теплообменный аппарат рекуперативного типа, применение которого позволяет внедрить систему использования теплоты промышленных сточных вод в качестве греющего теплоносителя.

систему энергосбережения на предприятии.

Эти затраты могут быть представлены в следующем виде, формула (7):

$$P = P_{FO} + P_{FD} + P_{II} + A, \quad (7)$$

где  $P_{FO}$  - затраты на основной теплообменник, руб/год;

$P_{FD}$  - затраты на дополнительный теплообменник, руб/год,

$P_{II}$  - стоимость пара, израсходованного для подогрева теплоносителя в основном теплообменнике, руб/год;

$A$  - сумма затрат, не зависящих от глубины охлаждения стока [5-7].

Годовые приведенные затраты на дополнительный теплообменник, формула (8):

$$P_{FO} = S_d F_d \varepsilon_H \quad (8)$$

Где  $S_d$  - удельная стоимость дополнительного теплообменника, руб/м<sup>2</sup>;

$F_d$  - поверхность теплообмена дополнительного теплообменника, м<sup>2</sup>,

$\varepsilon_H$  - нормативный коэффициент отчислений от капиталовложений 1/год.

Поверхность теплообмена дополнительного теплообменника определяется по формуле (9):

$$F_d = \frac{Q_d \cdot \varphi}{K_d \cdot \Delta t_d}, \quad (9)$$

где  $Q_D$  - тепловой поток в дополнительном теплообменнике, Вт,

$K_D$ -коэффициент теплопередачи в дополнительном теплообменнике, Вт / м<sup>2</sup>К

$\Delta t_D$  - температурный напор в дополнительном теплообменнике, К.

Таким образом, если в дополнительном теплообменнике, используемом в качестве энергосберегающего оборудования, осуществляется противоток. Тогда температурный напор определяется по формуле (10):

$$\Delta t = \frac{t_C^I - t^II - t_C^{II} + t^I}{\ln(t_C^I - t^II) / (t_C^{II} - t^I)}, K \quad (10)$$

Уравнение теплового баланса дополнительного теплообменника можно определить по формуле (11):

$$Q_D = W_C (t_C^I - t_C^{II}) = W (t^II - t^I) \quad (11)$$

Годовые приведенные затраты на основной теплообменник, определяются по формуле (12):

$$П_{FO} = S_0 F_0 \varepsilon \text{ руб/год}, \quad (12)$$

Где  $S_0$  - удельная стоимость основного теплообменника, руб/м<sup>2</sup>;

$F_0$ -поверхность теплообмена основного теплообменника, м<sup>2</sup>

Поверхность теплообмена основного теплообменника определяется по формуле (13):

$$F_0 = \frac{Q_0 \cdot \varphi}{K_0 \cdot \Delta t_0}, \quad (13)$$

где  $Q_0$  - тепловой поток в основном теплообменнике, Вт,

$K_0$ - коэффициент теплопередачи в основном теплообменнике, Вт/А;

$\Delta t_0$  - температурный напор в основном теплообменнике, К[8,9].

При конденсации греющего теплоносителя среднелогарифмический температурный напор определяется по формуле (14):

$$\Delta t_0 = \frac{t - t''}{\ln(t_s - t'') / (t_s - t)} \quad (14)$$

Тепловой баланс основного теплообменника определяется по формуле (15):

$$Q_0 = W(t - t'') = Dr, \quad (15)$$

где  $D$  - расход пара, кг/с,

$r$  - теплота парообразования, Дж/кг [10].

Стоимость израсходованного на нагрев теплоносителя пара можно определить по формуле (16):

$$П_{II} = 3600 \tau S_{II} D \text{ руб/год}, \quad (16)$$

где  $\tau$  - число часов работы, 1/год,

$S_{II}$  - удельная стоимость пара, руб/кг;

$D$  - расход пара, кг/с.

Обозначим:

$$\Delta t = t - t';$$

$$\Delta t_{HD} = t^I_C - t';$$

$$\Delta t_C = t^I_C - t'';$$

$$\Delta t_H = t_s - t';$$

$$\Delta t_H = t_s - t;$$

$$b_W = W_C / W.$$

Решив совместно уравнения (8) - (16) с учетом принятых обозначений выражение (7) можно представить в виде:

$$\Pi = \frac{\varphi \varepsilon_H \cdot S_D W_C}{K_D (1 - b_W)} \cdot \ln \frac{\Delta t_{HD} - b_W \Delta t_C}{\Delta t_{HD} - \Delta t_C} + \frac{\varphi \varepsilon_H S_C W}{K_O} \ln \frac{\Delta t_H b_W \Delta t_C}{\Delta t_K} + 3600 \tau S_{II} \frac{W (\Delta t - b_W \Delta t_C)}{\tau} \quad (17)$$

Подводя итог, можно сказать, что экономическая эффективность внедрения системы энергосбережения, с использованием теплового потенциала горячих промышленных сточных вод в качестве вторичных энергетических ресурсов зависит от суммы затрат на основное теплообменное оборудование, затрат на дополнительный теплообменный аппарат, стоимости пара, израсходованного для подогрева теплоносителя в основном теплообменнике. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и реконструкции предприятий отрасли, при внедрении системы использования теплоты промышленных сточных вод в качестве греющего теплоносителя, инженерных решениях использования вторичных энергоресурсов.

### Литература

1. Илиев, А.Г. «Определение технико-экономических показателей отопительных приборов предприятий сервиса при внедрении энергосберегающих теплотехнологий» / Илиев А.Г. // Сборник научных трудов Sworld. Выпуск 1. Том 10. Одесса: Куприенко С.В. 2014. с. 44-48
2. Илиев, А.Г. Снижение влияния вредных факторов на окружающую среду при функционировании энергетического сектора / Илиев А.Г. // Материалы 3-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной

- безопасности – 2014». М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. с. 112-116.
3. Илиев, А.Г. Определение удельных показателей тепловых вторичных энергоресурсов предприятий сервиса / Илиев А.Г. // Перспективы развития науки и образования: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 31 января 2014г.: в 15 частях. Часть 1: М-во обр. и науки РФ. Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. с. 148-152
  4. Михеев М. А., И. М. Михеева Основы теплопередачи, учебное пособие для ВУЗов – М. Бастет - 2010г. 343 с.
  5. Занина И.А. Определение возможного теплового потенциала сточных вод предприятий сервиса с учетом потерь тепловой энергии / Занина И.А., Илиев А.Г. //Сборник научных трудов Sworld.- Выпуск 4. Том 16. Одесса: Куприенко С.В., 2013. с. 98-102
  6. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2607)
  7. 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 / Pavlenko A.N., Tairov E.A., Zhukov V.E., Levin A.A., Moiseev M.I. // Journal Of Engineering Thermophysics, Pleiades Publishing, Ltd. 2014 №3, pp.173-193.
  8. 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](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/801)
  9. Grebneva O.A., Optimal planning and processing of the results of tests for
-

hydraulic and heat losses in heat systems / Grebneva O.A., Novitskii N.N.// Pleiades Publishing, Ltd. 2014 № 10 pp.754-759.

10. Илиев А.Г., Определение ПДВ и способы очистки дымовых газов при осуществлении нагрева рабочего теплоносителя в системе отопления предприятий сервиса / Илиев А.Г. // Материали за 9-а международна научна практична конференция, «Achievement of high school», 2013. Том 46, с. 52-58

### References

1. Iliev, A., Sbornik nauchnykh trudov Sworld. Vypusk 1. Tom 10. Odessa: Kuprienko S.T. 2014. pp. 44-48
2. Iliev, A.G., Materialy 3-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchenyh i specialistov «Problemy tehnosfernoj bezopasnosti – 2014». Akademija GPS MChS Rossii, 2014. pp. 112-116.
3. Iliev, A.G. Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 31 janvarja 2014: v 15 chastjah. Chast' 1: M-vo obr. i nauki RF. Tambov: Izd-vo TROO «Biznes-Nauka-Obshhestvo», pp. 148-152
4. Mikheev, M. A., I. M. Mikheeva Osnovy teploperedachi [Fundamentals of heat transfer] textbook for high schools Bastet. 2010. 343 p.
5. Senina I. A., A. Iliev, Sbornik nauchnykh trudov Sworld. Vypusk 4. Tom 16. Odessa: Kuprienko S.T., 2013. pp. 98-102
6. 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)
7. 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 Thermophysics, Pleiades Publishing, Ltd. 2014 No. 3, pp.173-193.



8. 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)

9. 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.

10. Iliev, A. G., Materiali za 9-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya, «Achievement of high school», 2013. Tom 46, pp.52-58