

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА ПЕЧНОГО БЫТОВОГО В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА НА НОВОКУЙБЫШЕВСКОЙ ТЭЦ-1

*Сидоров Валерий Евгеньевич*

*Самарский Государственный Технический Университет, Самара*

*Перов Максим Викторович*

*Самарский Государственный Технический Университет, Самара*

*Кавун Александр Михайлович*

*Самарский Государственный Технический Университет, Самара*

*Садчиков Николай Евгеньевич*

*Самарский Государственный Технический Университет, Самара*

В настоящее время на Новокуйбышевской ТЭЦ-1 основным видом топлива является природный газ, в качестве резервного топлива используют топочный мазут марок М-100.

Мазут марок М-100 – это высоковязкий продукт нефтепереработки с высокой температурой застывания до 42 °С. Это обстоятельство вынуждает производить подогрев мазута паром до температуры 60-80 °С при нахождении топливного хозяйства в режиме "ожидания", а при непосредственной подаче топлива в котлоагрегаты, для устойчивого распыливания в форсунках горелочных устройств, приходится подогревать мазут и до 90-110 °С.

Резервное топливное хозяйство – это целый комплекс сооружений, аппаратов и трубопроводов, потребляющий значительную долю собственных нужд предприятия. Для хранения мазута на территории станции предусмотрены 4 резервуара проектной емкостью 460 м<sup>3</sup> каждый, используются из которых ст. №№ 1,2, 3 и 5.

При эксплуатации резервного топливного хозяйства общие эксплуатационные затраты на выработку теплоты можно выразить в виде:

$$\mathcal{E}_T = \frac{Q_{\text{сум}}}{4,187 \cdot 10^6} 3600 \cdot S_T \cdot \tau,$$

где  $Q_{\text{сум}}$  – суммарные затраты теплоты расположения для на нужды мазутного хозяйства, кВт;  $\tau$  – продолжительность отопительного периода 5040 ч;  $S_T$  – себестоимость тепловой энергии, принимается равным 780 руб/Гкал.

Суммарные затраты теплоты на нужды мазутного хозяйства включают в себя затраты теплоты с паром, идущим на постоянный подогрев мазута в резервуарах  $Q_p, \text{Вт}$ , и на дополнительный нагрев в мазутоподогревателях  $Q_m, \text{Вт}$ . В результате суммарный расход теплоты на нужды мазутного хозяйства может быть выражен как:

$$Q_{\text{сум}} = Q_p + Q_m$$

Суммарные теплотопотери  $Q_p, \text{Вт}$ , через все наружные поверхности мазутного резервуара складываются из потерь теплоты через боковые стенки резервуара омываемые мазутом  $Q_{\text{ст}}, \text{Вт}$ , и потерь через поверхности крыши резервуара  $Q_{\text{кр}}, \text{Вт}$ .

$$Q_p = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{кр}}$$

На Новокуйбышевской ТЭЦ-1 для снижения потерь теплоты, через наружные поверхности резервуара, предусмотрена тепловая изоляция. В качестве теплоизоляционного материала на боковых стенках резервуаров применяется стекловата, крыша покрыта асбестоцементной стяжкой.

Потери тепла  $Q_{\text{ст}}, \text{Вт}$ , через боковые стенки мазутного резервуара можно по формуле:

$$Q_{\text{ст}} = k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (t_m - t_{\text{нв}}),$$

где  $k_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопередачи при переносе теплоты через боковую стенку резервуара,  $F_{\text{ст}} = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 5 \cdot 6 = 188,4 \text{ м}^2$  – площадь поверхности резервуара;  $t_m = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура мазута в резервуаре,  $^\circ\text{C}$ ;

Коэффициент теплопередачи от топлива через боковые стенки подогреватели резервуара к наружному воздуху  $Вт/(м^2 \cdot К)$ , определяется по формуле:

$$k_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1$  – коэффициента теплоотдачи от мазута к стенке, принимается равным  $150 \text{ Вт}/(м^2 \cdot ^\circ\text{С})$ ;  $\delta_{ст} = 10 \text{ мм}$  – толщина стенки резервуара;  $\lambda_{ст} = 47 \text{ Вт}/(м \cdot ^\circ\text{С})$  – коэффициент теплопроводности стенки резервуара;  $\delta_{из} = 70 \text{ мм}$  – толщина изоляции;  $\lambda_{из} = 0,043 \text{ Вт}/(м \cdot ^\circ\text{С})$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала.  $\alpha_2 = 23 \text{ Вт}/(м^2 \cdot ^\circ\text{С})$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к наружному воздуху, согласно СНиП II-3-79.

Тогда,  $k_{ст}$  будет воды ниже равен:

$$k_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{0,01}{47} + \frac{0,07}{0,043} + \frac{1}{23}} = 0,596 \text{ Вт}/(м^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Потери тепла  $Q_p$ , Вт, через наружные поверхности мазутного резервуара будут равны:

$$Q_{ст}^M = 0,596 \cdot 2231,2 \cdot (70 - t_{нв})$$

**Таблица 1**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{нв}, ^\circ\text{С}$	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{ст}^M, \text{Вт}$	7332,3	8241,82	8893,08	9229,94	9140,11	8443,93	7186,32

Для ТПБ потери тепла  $Q_p$ , через наружные поверхности мазутного резервуара будут равны:

$$Q_{\text{ст}}^{\text{ТПБ}} = 0,596 \cdot 2231,2 \cdot (10 - t_{\text{нв}})$$

**Таблица 2**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{\text{нв}}, ^\circ\text{C}$	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{\text{ст}}^{\text{ТПБ}}, \text{Вт}$	595,11	1504,63	2155,89	2492,75	2402,92	1706,75	449,14

Потери тепла  $Q_{\text{кр}}, \text{Вт}$ , через поверхность крыши резервуара, можно определить по формуле:

$$Q_{\text{кр}} = k_{\text{кр}} \cdot F_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{м}} - t_{\text{нв}}),$$

где  $k_{\text{ст}}$  – коэффициент теплопередачи при переносе теплоты через поверхность крыши резервуара,  $F_{\text{кр}} = \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot l = \pi \cdot 5 \cdot 17,8 = 78,539 \text{ м}^2$  – площадь поверхности крыши резервуара;  $t_{\text{м}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура мазута в резервуаре,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{нв}} = -5,2 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период в Самарской области.

Коэффициент теплопередачи при переносе теплоты через поверхность крыши резервуара:

$$k_{\text{кр}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{кр}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\alpha_1$  – коэффициента теплоотдачи от мазута к стенке, примем равным  $150 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C})$ ;  $\delta_{\text{кр}} = 5 \text{ мм}$  – толщина настила крыши резервуара;  $\lambda_{\text{ст}} = 47 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$  – коэффициент теплопроводности стенки резервуара;  $\delta_{\text{из}} = 60 \text{ мм}$  – толщина изоляции;  $\lambda_{\text{из}} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$  – коэффициент теплопроводности изоляционного материала;  $\alpha_2 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C})$  – коэффициент теплоотдачи от стенки к наружному воздуху, согласно СНиП II-3-79.

Тогда,  $k_{\text{кр}}$  будет равен:

$$k_{кр} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{0,005}{47} + \frac{0,06}{0,4} + \frac{1}{23}} = 4,99 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С}).$$

Потери тепла  $Q_{кр}$ , Вт, через поверхность крыши воздуха кДж/кг резервуара, будут равны:

$$Q_{кр}^M = 4,99 \cdot 1115,6 \cdot (70 - t_{нв})$$

**Таблица 3**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{нв}$ , °С	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{кр}^M$ , В	25588,7	28762,8	31035,6	32211,2	31897,7	29468,2	25079,3
T	6	6	8	7	8	2	4

Для ТПБ потери тепла  $Q_{кр}$ , через наружные поверхности мазутного резервуара будут равны:

$$Q_{кр}^{ТПБ} = 4,99 \cdot 1115,6 \cdot (10 - t_{нв})$$

**Таблица 4**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{нв}$ , °С	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{кр}^{ТПБ}$ , Вт	2076,88	5250,98	7523,8	8699,39	8985,9	5956,34	1567,45

Тогда суммарные теплопотери  $Q_p$ , Вт, через все наружные поверхности резервуара, будут равны:

$$Q_p^M = Q_{ст} + Q_{кр}$$

При использовании ТПБ суммарные теплотери  $Q_p$ , через все наружные поверхности резервуара, будут равны:

$$Q_p^{ТПБ} = Q_{ст} + Q_{кр}$$

**Таблица 5**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{нв}, ^\circ\text{C}$	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_p^M, \text{Вт}$	32921,0	37004,6	39928,7	41441,2	41037,8	37912,1	32265,3
	6	8	6	1	9	5	2
$Q_p^{ТПБ}, \text{В}$	2671,99	6755,61	9679,69	11192,1	10788,8	7663,09	2016,59
т				4	2		

Исходя из расчетов видно, что при использовании ТПБ в качестве резервного топлива, суммарные теплотери через все наружные поверхности резервуара будут почти 5 раз ниже.

Теплота, затрачиваемая на дополнительный подогрев топлива в подогревателях, определяется по формуле:

$$Q_M = G_M c_M (t''_{мп} - t'_{мп}),$$

где  $G_M$  – расход мазута через мазутоподогреватели 1,66 кг/с (6 т/ч);  $c_M$  – удельная теплоемкость мазута 2,015 кДж/(кг·°C) при температуре мазута на выходе из подогревателя  $t''_{мп} = 110^\circ\text{C}$ ;  $t'_{мп} = 70^\circ\text{C}$  – температура мазута на входе в подогреватель.

Отсюда

$$Q_M = 1,667 \cdot 2,015 \cdot 10^3 (110 - 70) = 13436,02 \text{ Вт.}$$

Для ТПБ теплота, затрачиваемая на его подогрев, будет определяться:

$$Q_{\text{ТПБ}} = G_{\text{ТПБ}} c_{\text{ТПБ}} (t''_{\text{ТПБ}} - t'_{\text{ТПБ}})$$

где  $G_{\text{ТПБ}}$  примем равным 20 кг/с;  $c_{\text{ТПБ}} = 1,716$  кДж/(кг·°С) при  $t''_{\text{ТПБ}} = 30$  °С;  $t'_{\text{ТПБ}} = 10$  °С.

Отсюда

$$Q_{\text{ТПБ}} = 20 \cdot 1,716 \cdot 10^3 (30 - 10) = 68640 \text{ Вт.}$$

Тогда суммарные затраты теплоты естественную устройстве на нужды резервного топливного хозяйства, при использовании мазута, будут равны:

$$Q_{\text{сум}}^{\text{М}} = Q_{\text{Р}}^{\text{М}} + Q_{\text{М}}$$

**Таблица 6**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Феврал ь	Март	Апрель
$t_{\text{НВ}}, ^\circ\text{C}$	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{\text{Р}}^{\text{М}}, \text{Вт}$	32921,06	37004,68	39928,76	41441,21	41037,8 9	37912,1 5	32265,3 2
$Q_{\text{сум}}^{\text{М}}, \text{В}$ т	167281,2 6	171364,8 8	174288,9 6	175801,4 1	175398, 1	172272, 3	166625, 5

Когда как суммарные затраты теплоты на нужды резервного топливного хозяйства при использовании ТПБ, будут равны:

$$Q_{\text{сум}}^{\text{ТПБ}} = Q_{\text{Р}}^{\text{ТПБ}} + Q_{\text{М}}$$

**Таблица 7**

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
$t_{\text{НВ}}, ^\circ\text{C}$	+4,7	-3,4	-9,2	-12,2	-11,4	-5,2	+6
$Q_{\text{Р}}^{\text{ТПБ}}, \text{Вт}$	2671,99	6755,61	9679,69	11192,14	10788,82	7663,09	2016,59

$Q_{\text{сум}}^{\text{ТПБ}}, \text{Вт}$	71311,99	75395	78319	79832	79428	76303	70656
--	----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Таким образом, произведена сравнительная оценка тепловых потерь за отопительный период, для резервуара с ТПБ объемом 460 м<sup>3</sup> эти затраты составляют 531,2 кВт, что в 2,26 раза меньше, чем для аналогичного резервуара с мазутом М-100, установленного на Новокуйбышевской ТЭЦ-1. Летом подогрев ТПБ, в отличие от мазута, не требуется, соответственно и затраты теплоты снизятся.

Общие эксплуатационные затраты на выработку теплоты для мазута, за отопительный период, составят:

$$\mathcal{E}_T^M = \frac{1203,03}{4,187 \cdot 10^6} 3600 \cdot 780 \cdot 5040 = 4,066 \text{ млн. руб.}$$

Для ТПБ:

$$\mathcal{E}_T^{\text{ТПБ}} = \frac{531,2}{4,187 \cdot 10^6} 3600 \cdot 780 \cdot 5040 = 1,795 \text{ млн. руб.}$$

Экономия, при использовании ТПБ в качестве резервного топлива, составит:

$$\Delta \mathcal{E} = 4 \cdot (\mathcal{E}_T^M - \mathcal{E}_T^{\text{ТПБ}}) = 4 \cdot (4,066 - 1,795) = 9,08 \text{ млн. руб.}$$

## Выводы

1. В работе рассмотрена возможность использования в качестве резервного топлива на Новокуйбышевской ТЭЦ- топливо печное бытовое (ТПБ). Топливо печное бытовое – это продукт глубокой переработки нефти, вырабатывается из дизельных фракций прямой перегонки и вторичного происхождения, относится к легким нефтяным видам топлива. Различают ТПБ двух типов: темное и светлое (близкое к дизельному топливу), отличающихся друг от друга цветом и температурой застывания. Преимуществами ТПБ являются высокая теплота сгорания 38,5-42,5



МДж/кг (у мазута 39-40,5 МДж/кг), низкая температура застывания по сравнению с мазутом ( $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже), низкое содержание серы (около 0,5-1 % по массе). По стоимости темное ТПБ сопоставимо со стоимостью мазута М-100, средняя цена колеблется в пределах 9-20 тыс. руб./т. Светлое ТПБ несколько дороже, его стоимость зависит от температуры застывания, чем ниже температура застывания, тем дороже топливо, в среднем стоимость светлого ТПБ составляет 27,5 тыс. руб./т.

2. Для сжигания ТПБ топлива воздуха можно те же горелки и форсунки, что и для сжигания мазута. Для подачи ТПБ в котельную так же можно использовать уже имеющиеся насосы с электродвигателями.

3. Топливо печное бытовое не намного дороже мазута, а теплота сгорания его выше, и равна 42,5 МДж/кг поэтому затраты на закупку ТПБ  $Z_{\text{ТПБ}}$ , руб., и мазута  $Z_{\text{м}}$ , руб., сопоставимы.

4. Затраты на выработку теплоты для топливного хозяйства с ТПБ пойдут лишь на компенсацию тепловых потерь через наружные ограждения резервуаров. Однако они будут в несколько раз ниже, поскольку в местах отбора ТПБ из резервуаров топливохранилища температура должна быть не менее  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

5. Ввиду малой вязкости ТПБ затраты электроэнергии на циркуляцию топлива будут меньше чем при использовании мазута, из этого следует, что затраты на электроэнергию  $Z_{\text{э}}$ , руб., будут существенно ниже. При использовании ТПБ практически отсутствуют сбросы загрязненных стоков в производственно-дождевую канализацию и затраты на их очистку.

Технологически переход с мазута на ТПБ не повлечет за собой существенного технического перевооружения существующего топливного хозяйства и крупных капиталовложений.

6. Применение в качестве резервного топлива на Новокуйбышевской ТЭЦ-1 топлива печного бытового позволит сэкономить 9,08 млн. руб.

отопительный период, ввиду существенно меньших энергетических затрат на разогрев такого топлива по сравнению с мазутом

### Список литературы

1. Буров В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П. и др. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 466 с.
2. Денисов И.Н., Кузнецов В.Д., Шелудько Л.П. Оценка экономической эффективности реальных инвестиций в энергетике: учебно-метод. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2004. 58 с.
3. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2015. 325 с.
4. Кудинов А.А., Зиганшина С.К. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: Машиностроение, 2011. 374 с.
5. Кудинов А.А. Горение органического топлива: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2015. 390 с.
6. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) / под редакцией Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – 2-е издание, переработанное. М.: «Энергия», 1973, 294 с.
7. Кудинов А.А. Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов. М.: ИНФРА-М, 2012. 375 с.
8. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.