



АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ИТП-6

Нуриддинов Отабек Шухрат угли

Ведущий инженер-технолог Литейно-механического завода
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Гулнора Бурановна Юлдашева

доцент кафедры материаловедения и машиностроения
Ташкентского государственного транспортного университета,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

Туракулов Мурот Рустамович

ст. преподаватель кафедры «Материаловедения и
машиностроения»

Ташкентский государственный транспортный университет,
Республика Узбекистан, г. Ташкент

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18384800>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 20-yanvar 2026 yil
Ma'qullandi: 24-yanvar 2026 yil
Nashr qilindi: 27-yanvar 2026 yil

KEYWORDS

индукционная печь ИТП-6,
энергетический баланс,
электрические потери,
коэффициент полезного
действия, индукционный
нагрев,
энергоэффективность

ABSTRACT

В статье представлен анализ электрических потерь и оценка коэффициента общей эффективности индукционной печи ИТП-6, применяемой для выплавки конструкционных сталей. Рассмотрена структура энергетического баланса печной установки, включающая полезное использование электрической энергии и основные виды потерь: в индукторе, ферромагнитных экранах, конденсаторной батарее, токопроводе и преобразователе. На основе расчетных данных определена доля каждого вида потерь в общем энергопотреблении, а также рассчитан коэффициент полезного действия печи. Полученные результаты позволяют выявить основные направления снижения электрических потерь и повышения энергетической эффективности индукционных печей при металлургическом производстве.

Введение

Индукционные тигельные печи широко применяются в современной металлургии благодаря высокой интенсивности нагрева, возможности точного регулирования температурного режима и улучшенному качеству выплавляемого металла. В то же время значительная часть потребляемой электрической энергии теряется в различных элементах печной установки, что приводит к снижению общей энергетической эффективности процесса плавки. Одной из актуальных задач при эксплуатации индукционных печей является анализ распределения электрической энергии между полезным тепловым эффектом и потерями, возникающими в индукторе, ферромагнитных экранах,

элементах электрической цепи и преобразователе частоты. Количественная оценка этих потерь позволяет определить коэффициент общей эффективности печи и обосновать направления его повышения.

Целью данной работы является анализ электрических потерь в индукционной печи ИТП-6 и оценка коэффициента общей эффективности на основе энергетического баланса процесса выплавки стали. Для достижения поставленной цели выполнен расчет отдельных составляющих электрических потерь и дана их сравнительная оценка.

Энергия, теряющаяся в ферромагнитных экранах, равна

$$W_{\text{ф.э}} = W_{\text{п}} - W_{\text{и-м}} = W_{\text{и-м}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{экр}}} - 1 \right) = 2778,8 \left(\frac{1}{0,98} - 1 \right) \approx 56,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

где $W_{\text{и-м}} = W_{\text{м}} + W_{\text{и}} = 2191,8 + 587 = 2778,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ – энергия, выделяющаяся в системе “индуктор – металл”;

$\eta_{\text{экр}}$ – электрический КПД ферромагнитного экрана ИТП – 6 (по данным ЛМЗ $\eta_{\text{экр}} = 0,98$).

Энергия, теряющаяся в конденсаторной батарее, равна

$$W_{\text{к.б}} = P_{\text{к.б}} \cdot \tau_{\text{р}} = 169,5 \cdot 0,633 \approx 107,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $P_{\text{к.б}} = Q_{\text{к.б}} \cdot \text{tg} \delta \cdot \left(\frac{U_{\text{к.б}}}{U_{\text{и}}} \right)^2 \approx 169,5 \text{ кВт}$ – мощность электрических потерь в конденсаторной батарее;

$\text{tg} \delta = 3,8 \cdot 10^{-3}$ – тангенс угла диэлектрических потерь для конденсаторов типа ЭСВ (ГОСТ 18689–81);

$Q_{\text{к.б}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{и}} + Q_{\text{з}} = 3460,8 + 926,8 + 40223,4 = 44611,1$ – реактивная емкостная мощность.

Энергия, теряющаяся в колебательном контуре, равна

$$W_{\text{к}} = W_{\text{и-м}} + W_{\text{ф.э}} + W_{\text{к.б}} = 2778,7 + 56,7 + 107,6 = 2943 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Энергия, теряющаяся во вторичном токопроводе, равна

$$W_{\text{тпр}} = W_{\text{к}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{тпр}}} - 1 \right) = 2943 \left(\frac{1}{0,98} - 1 \right) = 60 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $\eta_{\text{тпр}}$ – электрический КПД вторичного токопровода ИТП – 6 (по данным ЛМЗ $\eta_{\text{тпр}} = 0,98$).

Энергия, теряющаяся в печной установке ИТП –6, равна

$$W_{\text{итп}} = W_{\text{к}} + W_{\text{тпр}} = 2943 + 60 = 3003 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Структура энергетического баланса приведена на таблице 1 и рисунке 1.

Таблица 1 – Энергетический баланс для выплавки стали 20ГЛ

Приход	кВт·ч		Расход	кВт·ч	
Электроэнергия		9	Энтальпия жидкого металла		64,2
Экзотермические реакции			Энтальпия шлака		
			Тепловые потери		3,3
			В том числе:		

			через стены		2,4
			через подины		0,08
			через свод		0,27
			через воротник		0,06
			Энергия, аккумулированная футеровкой	15	0,46
			Электрические потери		28,7
			В том числе:		
			в индукторе		18,0
			в ферромагнитных экранах		1,7
			в конденсаторах		3,3
			в токопроводе		1,8
			в преобразователе		3,8
Всего			Всего		

Энергии, теряющаяся в преобразователе, равна

$$W_{ип} = W_{итп} \left(\frac{1}{\eta_{ип}} - 1 \right) = 2999 \left(\frac{1}{0,96} - 1 \right) \approx 125 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $\eta_{ип}$ - электрический КПД преобразователя ИТП - 6 (по данным ЛМЗ $\eta_{ип} = 0,96$).

Электрическая энергия, забираемая из сети, равна

$$W_c = W_{итп} + W_{ип} = 3003 + 125 = 3128 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Общий КПД ИТП - 6 равен:

$$\eta_o = \frac{W_{пол.р}}{W_c} = \frac{2085}{3128} \approx 0,68.$$

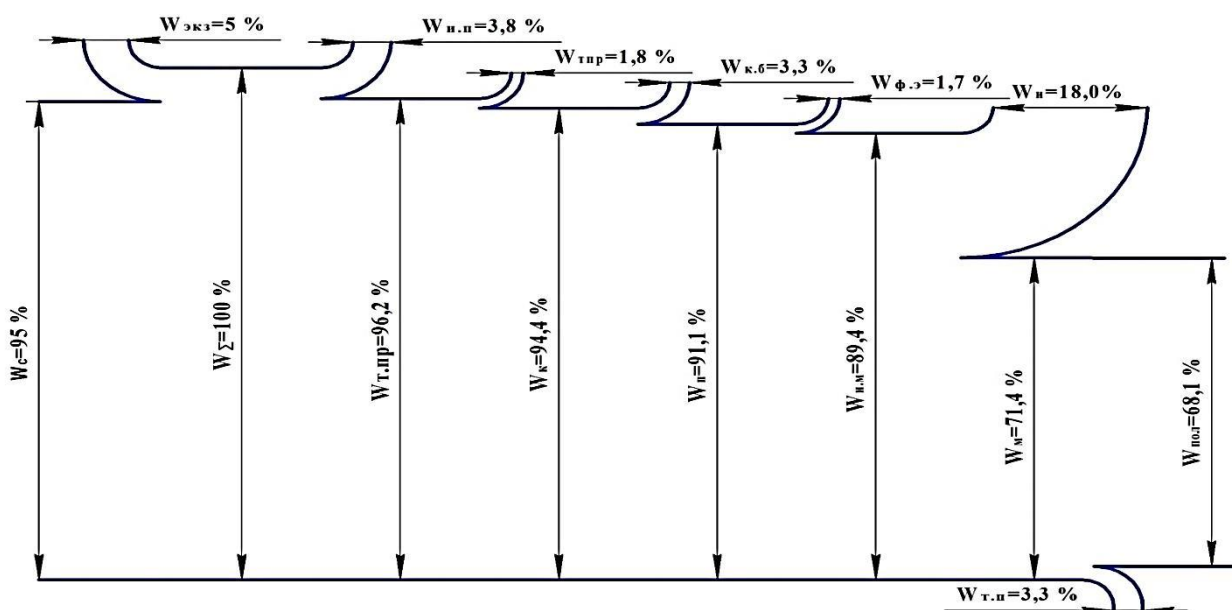


Рисунок 1 – Энергетический баланс

Удельный расход электроэнергии определен по формуле

$$W_y = \frac{W_c}{m_o} = \frac{3096}{6} = 516 \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{Мг}}.$$

по сравнению с проектным решением компании Otto Junker 525 $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{Мг}}$.

Заключение

В результате проведенного анализа электрических потерь в индукционной печи ИТП-6 установлено, что наибольшая доля электрической энергии теряется в индукторе и преобразователе, что существенно влияет на снижение общего коэффициента полезного действия печной установки. Потери в ферромагнитных экранах, конденсаторной батарее и токопроводе также вносят заметный вклад в общий энергетический баланс.

Расчет коэффициента общей эффективности показал, что значительная часть потребляемой из сети электрической энергии не используется непосредственно для нагрева и плавления металла. Это указывает на необходимость оптимизации конструктивных и режимных параметров печи, а также совершенствования элементов электрической схемы.

Полученные результаты могут быть использованы при модернизации индукционных печей и разработке мероприятий, направленных на снижение электрических потерь и повышение энергоэффективности металлургических процессов.

Список использованных источников:

1. Кайбичева М.Н. Футеровка электропечей – М: Металлургия, 1975 г. –280 с.
2. Toirov, O. T., N. Q. Tursunov, and D. I. Nigmatova. "Reduction of defects in large steel castings on the example of" Side frame." International Conference on Multidimensional Research and Innovative Technological Analyses. 2022.
3. Тоиров, Отабек Тоир Угли, Нодиржон Каюмжонович Турсунов, and Лочинбек Ахмаджон Угли Кучкоров. "Совершенствование технологии внепечной обработки стали с целью повышения ее механических свойств." Universum: технические науки 4-2 (97) (2022): 65-68.
4. Тен, Э. Б., and O. T. Тоиров. "Оптимизация литниковой системы для отливки." Литейное производство 10 (2021): 17-19.
5. Toirov Otabek, and Nodirjon Tursunov. "Efficiency of using heat-insulating mixtures to reduce defects of critical parts." E3S Web of Conferences. Vol. 401. EDP Sciences, 2023.
6. Туракулов М. Р. и др. Разработка эффективной технологии получения синтетического чугуна в индукционной тигельной печи //Universum: технические науки. – 2022. – №. 6-2 (99). – С. 30-33.
7. Toirov, O., & Tursunov, N. (2023). Efficiency of using heat-insulating mixtures to reduce defects of critical parts. In E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 05018). EDP Sciences.
8. Toirov, O., Tursunov, N., & Kuchkorov, L. (2025). Development of resource-saving composition of sand-clay mixtures for steel castings with improved physical and chemical characteristics. Vibroengineering Procedia, 58.