



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-19-23>  
УДК 621.74

Поступила 30.04.2025  
Received 30.04.2025

## ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ СРЕДНЕЧАСТОТНЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ПЛАВКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*В. И. ЧЕЧУХА, ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО», г. Минск, Беларусь, ул. Макаенка, 23  
М. А. САДОХА, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: cadoxa@bntu.by*

*Показаны преимущества использования среднечастотных индукционных тигельных печей по сравнению с печами, работающими на промышленной частоте. Представлена экономическая эффективность от перехода с индукционных печей промышленной частоты на среднечастотные печи. Описан метод многопостовой плавки.*

**Ключевые слова.** *Индукционные плавильные печи промышленной частоты, индукционные плавильные печи средней частоты, преимущества индукционных плавильных печей средней частоты, плавка сплава, алюминиевый сплав, качество литья, энергосбережение.*

**Для цитирования.** *Чечуха, В. И. Преимущества применения индукционных среднечастотных тигельных плавильных печей при плавке алюминиевых сплавов / В. И. Чечуха, М. А. Садоха // Литье и металлургия. 2025. № 3. С. 19–23. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-19-23>.*

## ADVANTAGES OF USING MEDIUM-FREQUENCY INDUCTION CRUCIBLE FURNACES FOR MELTING ALUMINUM ALLOYS

*V. I. CHECHUKHA, OJSC “MMZ named after S. I. Vavilov – Managing Company of “BelOMO” Holding”, Minsk, Belarus, 23, Makayenka str.  
M. A. SADOKHA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.  
E-mail: cadoxa@bntu.by*

*The article outlines the advantages of medium-frequency induction crucible furnaces in comparison with industrial-frequency furnaces. It presents the economic efficiency achieved by transitioning from industrial-frequency induction furnaces to medium-frequency units. Additionally, the paper describes the method of multi-station melting, highlighting improvements in energy efficiency, metal quality, and production flexibility.*

**Keywords.** *Industrial-frequency induction melting furnaces, medium-frequency induction melting furnaces, advantages of medium-frequency induction furnaces, alloy melting, aluminum alloy, casting quality, energy saving.*

**For citation.** *Chechukha V. I., Sadokha M. A. Advantages of using medium-frequency induction crucible furnaces for melting aluminum alloys. Foundry production and metallurgy, 2025, no. 3, pp. 19–23. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2025-3-19-23>.*

Важным направлением развития машиностроительного комплекса на современном этапе является повышение эффективности, в первую очередь за счет снижения энергопотребления высокоэнергоемких технологических процессов, к которым относятся процессы плавки. В связи с этим особое значение приобретает совершенствование плавильного оборудования, направленное на автоматизацию, улучшение энергетических показателей, надежности работы, повышение эффективности и качества подготовки сплава. Технично-экономические показатели плавильного оборудования во многом зависят от типа и условий эксплуатации применяемых источников питания, а также технологических схем энергопитания, водоподготовки, охлаждения электрических контуров и др.

В последнее десятилетие технология индукционной плавки на заводах перешла с плавки с присутствием «болота» на более эффективную – плавку с полным сливом расплава. Такой метод подразумевает использование повышенных плотностей мощности и сокращение времени плавления. Это требует пересмотра требований к индукционным источникам питания. Старое поколение систем индукционной

плавки с присутствием «болота» работало на промышленной частоте, что ограничивало плотность мощности (кВт/т), так как при высокой мощности и малой частоте перемешивание металла в индукционной печи слишком интенсивное и в действительности может привести к выплескиванию расплава из печи. Дальнейшее повышение интенсивности плавки и производительности индукционных тигельных печей стало возможным при увеличении частоты тока в индукторе от 50 до 500 Гц для крупных печей, а по мере уменьшения размеров печи рациональная частота увеличивается и достигает 1,0–10,0 кГц для печей вместимостью 10–400 кг. Для малых печей вместимостью несколько десятков граммов оптимальная частота возрастает до 440 кГц [1–3].

По сравнению с индукционными печами промышленной частоты (ИППЧ) плавка на средней частоте имеет следующие преимущества:

- расход электроэнергии вдвое меньше, чем в ИППЧ, работающих в непрерывном цикле плавки с частичным сливом металла и периодической дозагрузки шихты;
- садочный режим плавки, т.е. без использования переходящего от плавки к плавке остатка жидкого металла («болота»), позволяет исключить предварительную сушку шихты и связанные с ней затраты, а также сократить расходы на футеровку, поскольку долговечность футеровки при садочном режиме плавки возрастает, и, наконец, исключить непроизводительные затраты труда, электроэнергии и материалов, связанные с невозможностью отключения ИППЧ на время перерывов в работе литейного производства;
- допустимая удельная мощность, подводимая к металлу, в 3 раза выше, чем в ИППЧ, что обеспечивает короткие циклы плавки (30–45 мин), повышает теплотехнический КПД;
- возможность полного слива металла из тигля и относительно малая масса футеровки печи, что создает условия для снижения тепловой инерции печи благодаря уменьшению теплоты, аккумулированной футеровкой; печи этого типа весьма удобны для периодической работы с перерывами между плавками и обеспечивают возможность для быстрого перехода с одной марки сплава на другую;
- повышение качества сплава за счет проведения плавки при его интенсивном перемешивании без разрыва оксидной пленки за более короткое время, что впоследствии снижает процент брака по газовым дефектам и неметаллическим включениям;
- в индукционных плавильных среднечастотных печах (ИПСЧ) ниже процент угара металла и легирующих элементов при плавке.

Кроме указанных выше преимуществ и энергоэффективности перехода на оборудование средней частоты с промышленной, повышение эффективности систем среднечастотной плавки металлов достигается при организации групповой плавки одновременно в нескольких печах или так называемого многопостового метода плавки. Сущность этого метода состоит в том, что процесс плавки в разных печах сдвинут по фазе технологического цикла: одна печь работает в режиме нагрева и расплавления металла с большим потреблением активной энергии, вторая находится в режиме выдержки и теплосхранения металла с малым потреблением энергии (10–20% от энергопотребления в режиме плавки), третья – в режиме разлива металла и загрузки шихтой без потребления энергии. Метод многопостовой плавки требует нового подхода к организации труда на плавильном участке. В последние годы получили развитие системы электропитания двух или нескольких одновременно работающих печей от одного источника, в которых имеется возможность гибкого перераспределения подводимой энергии от одной печи к другим.

Технико-экономическая эффективность среднечастотных индукционных плавильных систем еще более возросла с тех пор, когда компания АВР создала двухпостовой плавильный комплекс с двумя одновременно работающими ИПСЧ от одного двухэнергоканального источника питания, осуществляющего перераспределение потока энергии между печами в цикле плавки (плавильная система Twin-Power).

Компания Inductotherm (США) также разработала систему двухпостовой среднечастотной плавки DUAL-TRAK.

Компания JUNKER (Германия) предлагает на мировом рынке систему DUOMELT SYSTEM. Создание таких систем позволило повысить эффективность использования установленной мощности оборудования системы электропитания печей, снизить ее стоимость на 30–40% и повысить производительность плавильных установок.

Аналогичные системы среднечастотной плавки разработаны Российской электротехнологической компанией «РЭЛТЕК». Двухпостовые установки индукционной плавки типа УИПТ реализуют tandemный способ, когда плавка ведется последовательно в одной печи до ее завершения, а затем продолжается

во второй печи. При этом источник питания переключается с одной печи на другую. Такой метод позволяет примерно на 20% повысить производительность плавильной установки по сравнению с однопостовой плавильной системой за счет сокращения технологических перерывов и более интенсивного использования оборудования системы электропитания.

Кроме повышения производительности и энергоэффективности самих печей, требуется также сокращать время простоя плавильного оборудования на регламентные ремонтные работы.

Для контроля состояния тигля в процессе эксплуатации печи при набивке футеровки устанавливают датчики прогара, позволяющие определить место нахождения дефектов, пор и трещин, а также оценить общее состояние и степень износа футеровки по электрическим параметрам.

Для ускорения проведения ремонтных работ по набивке футеровки в конструкции печей предусматривают гидравлическую систему извлечения тигля. Также для сокращения времени на просушку и прокатку при набивке тигля вместо тигля из футеровочных огнеупорных масс используют графитовые тигли. Это значительно сказывается на качестве выплавляемого сплава, снижает процент брака отливок, связанного с неметаллическими включениями.

В соответствии с современными мировыми тенденциями с целью рационального использования плавильного оборудования, сокращения времени плавки, повышения энергоэффективности, снижения потерь на угар, повышения качества подготовленного сплава ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО» для плавки и приготовления алюминиевых сплавов на участке литья под высоким давлением произвело замену морально и физически устаревших печей ИАТ-0,4/0,18 на индукционные тигельные плавильные печи GWL-0,3Т-300/1S средней частоты (рис. 1). Технические характеристики печей приведены в таблице.



Рис. 1. ИПСЧ модели GWL-0,3Т-300/1S

Основные характеристики ИАТ-0,4/0,18 и GWL-0,3Т-300/1S

Наименование параметра	ИАТ-0,4/0,18	GWL-0,3Т-300/1S
Емкость печи, т	0,4	0,3 (при использовании набивной футеровки); 0,18 (при использовании графитового тигля СА600L)
Потребляемая мощность, кВт	180	300
Частота, Гц	50	1000
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	620	151
Производительность (расплавление и перегрев), т/ч	0,29	0,31
Угар, %	1,2	0,8

Замер потребления электроэнергии и расчет производительности печи GWL-0,3T-300/1S производили при плавке в условиях использования графитового тигля СА600L ОАО «Лужский абразивный завод» емкостью 0,18 т по алюминиевому сплаву.

Технико-экономические показатели перехода на среднечастотную индукционную плавку приведены на рис. 2, 3.

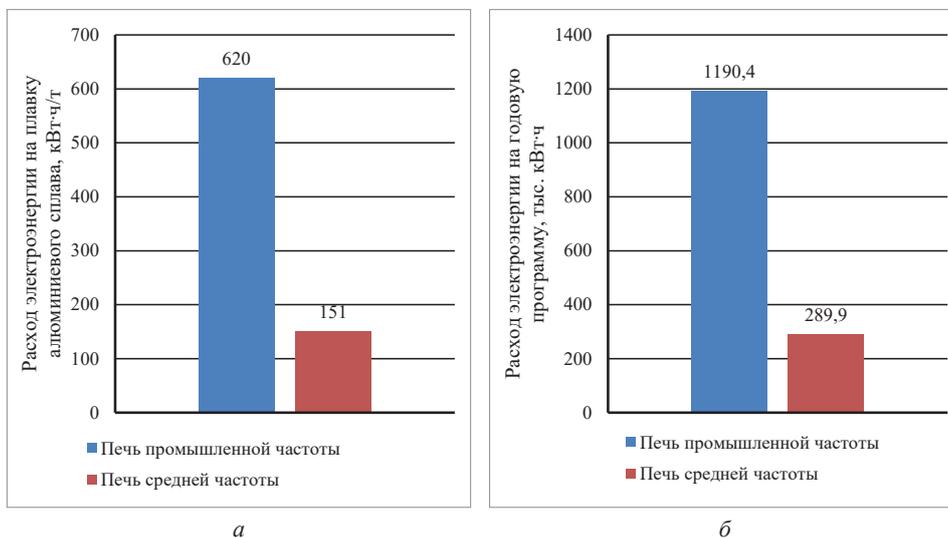


Рис. 2. Расход электроэнергии на плавку алюминиевых сплавов при применении различных плавильных агрегатов в условиях ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО»:  
а – на 1 т сплава; б – на годовую программу

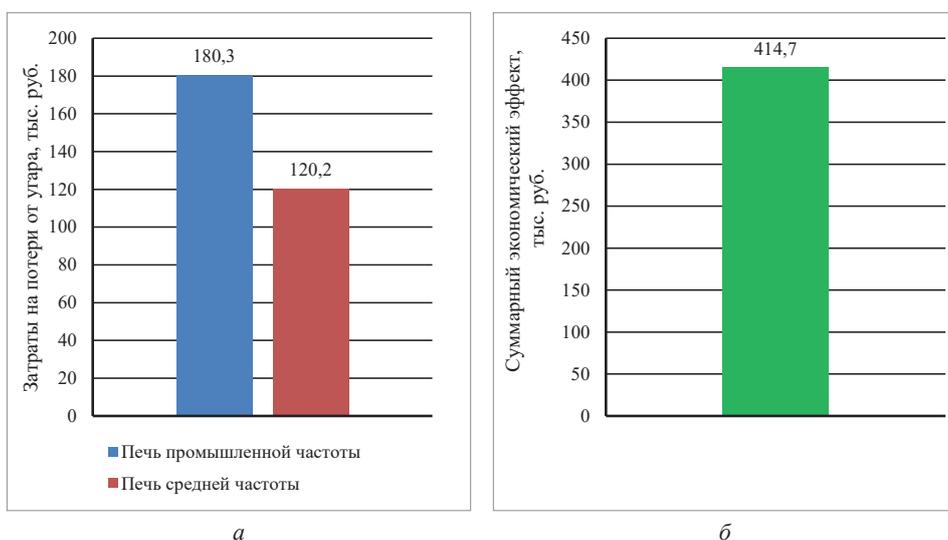


Рис. 3. Годовые экономические показатели в ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО» от перехода на плавку алюминиевых сплавов с применением плавильных печей средней частоты:  
а – потери на угар металла; б – суммарный экономический эффект от перехода на плавку всего годового объема алюминиевых сплавов в печах средней частоты, тыс. руб.

В относительных цифрах переход на плавку в среднечастотных печах в ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО» обеспечил экономию 63,9% средств, которые ранее тратились при использовании печей промышленной частоты.

Таким образом, применение ИПСЧ вместо ИППЧ позволяет повысить производительность процесса плавки, качество выплавляемого сплава, сократить расходы на электроэнергию, снизить напряженность труда плавильщиков, сократить время простоя на регламентные ремонтные работы и улучшить производственную надежность систем индукционной плавки металлов, что в свою очередь положительно отразится на себестоимости и качестве конечной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Индукционные тигельные печи: учеб. пособие / Л. И. Иванова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ – УПИ, 2002. – 87 с.
2. Разработка технологических решений получения черных и цветных сплавов с использованием среднечастотных индукционных печей / Д. М. Кукуй [и др.] // Литье и металлургия. – 2014. – № 2. – С. 9–14.
3. **Лузгин, В. И.** Индукционные печи средней частоты нового поколения / В. И. Лузгин, А. Ю. Петров, Л. И. Фаерман // Черные металлы. – 2006. – № 7–8. – С. 14–24.

## REFERENCES

1. **Ivanova L. I., Grobova L. S., Sokunov B. A., Sarapulov S. F.** *Indukcionnye tigel'nye pechi: ucheb. posobie* [Induction crucible furnaces: a textbook]. Ekaterinburg: UGTU – UPI Publ., 2002, 87 p.
2. **Kukuj D. M., Rudnitsky F. I., Fasevich Yu. N., Sergiyenya N. N., Sindel A. S.** Razrabotka tekhnologicheskikh reshenij polucheniya chernykh i cvetnykh splavov s ispol'zovaniem srednechastotnykh indukcionnykh pechej [Development of technological solutions of receiving black and color alloys with application of mid-frequency induction furnaces]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2014, no. 2, pp. 9–14.
3. **Luzgin V. I., Petrov A. Yu., Faerman L. I.** Indukcionnye pechi srednej chastoty novogo pokoleniya [Medium-frequency induction furnaces of the new generation]. *Chernye metally = Ferrous metals*, 2006, no. 7–8, pp. 14–24.