

**УДК 621.747:621.311.6**

БУЛЫНКО М.А., магистрант гр. 50207125 (БНТУ)  
Научный руководитель ХРИПОВИЧ А.А., к.т.н., доцент (БНТУ)  
г. Минск

## **СТРАТЕГИИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Плавильные печи занимают доминирующее положение в современной литейной промышленности, что обусловлено их высоким КПД, точностью контроля температурного режима и экологической безопасностью по сравнению с топливными агрегатами. Однако интенсивное энергопотребление данного оборудования составляет значительную долю в себестоимости выпускаемой продукции. В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию и ужесточения экологических нормативов задача снижения удельного расхода электроэнергии на тонну выплавленного металла приобретает критическую важность для обеспечения конкурентоспособности и устойчивого развития предприятий.

Первостепенным фактором, определяющим энергоэффективность, является корректный выбор типоразмера и мощности плавильного агрегата в соответствии с производственной программой. Использование печи с избыточной номинальной мощностью приводит к увеличению холостых потерь в индукторе и электрической сети. В то же время работа агрегата недостаточной мощности на пределе его возможностей сопровождается увеличением длительности плавки, ростом угара металла и, как следствие, перерасходом электроэнергии. По этим причинам необходимо производить тщательную технико-экономическую оценку, которая учитывает номенклатуру сплавов, объемы выпуска и график работы цеха.

*Интенсификация технологических процессов.* Энергетическая эффективность электроплавки в значительной степени определяется состоянием шихтовых материалов и оптимальностью управления процессом. Интенсификация технологических режимов представляет собой наиболее действенное направление ресурсосбережения, позволяющее достичь значительного снижения удельного расхода электроэнергии без капитальной реконструкции оборудования. Ключевыми аспектами такой интенсификации являются оптимизация шихтовых материалов, рациональное управление мощностью и конструктивное совершенствование плавильных агрегатов [1, с. 18].

Одним из наиболее универсальных методов, пригодных для плавильных агрегатов различного масштаба и принципа действия, является предварительный подогрев шихты. Его энергосберегающий эффект обусловлен переносом части энергозатрат из электрического контура в тепловой, который достигается за счет внесения в печь дополнительной тепловой энергии с нагретыми материалами. Достижимый технологический эффект прямо пропорционально зависит от температуры подогрева. Повышение температуры шихты одновременно приводит к снижению удельного расхода электроэнергии и способствует интенсификации

процесса плавки за счет сокращения времени нагрева металла. Вместе с этим уменьшается термический шок футеровки от загрузки холодных материалов, из-за чего повышается ее стойкость, а снижение влажности шихты ведет к улучшению экологических показателей плавки [2, с. 29].

Важным резервом повышения эффективности является внедрение систем рационального управления мощностью плавильного агрегата. Современные системы автоматизации позволяют обеспечивать регулирование мощности в зависимости от текущей стадии технологического цикла – начального нагрева, интенсивного расплавления или доводки химического состава. Такой подход предотвращает перегрев металла на финальных стадиях, минимизирует угар элементов и снижает потери в электрической сети, обусловленные работой на неоптимальных режимах.

Конструктивное совершенствование элементов установки вносит существенный вклад в снижение энергоемкости. Усиления электромагнитной связи с металлической шихтой можно достичь путем оптимизации конструкции индуктора и магнитопровода. Данное решение позволяет повысить коэффициент мощности установки и уменьшить реактивные потери в компенсирующих устройствах и питающих сетях. Увеличение производительности плавки напрямую снижает ее энергоемкость, так как сокращается доля постоянных тепловых потерь в общем энергобалансе агрегата.

*Применение современных энергосберегающих материалов в конструкции футеровки.* Энергетические потери в плавильных агрегатах в значительной степени определяются эффективностью теплозащиты, где ключевую роль играет качество и конструкция футеровки. Современные подходы к созданию теплового барьера ориентированы на применение комплекса высокоэффективных огнеупоров и изоляционных материалов, что позволяет кардинально снизить непродуктивный расход тепловой энергии.

Основу энергосберегающей футеровки составляют современные высоко термостойкие огнеупоры. Широкое распространение получают монолитные футеровки, формируемые из материалов на основе корунда ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), циркона ( $\text{ZrSiO}_4$ ) и муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ). Их ключевыми преимуществами являются низкая теплопроводность и исключительная стойкость к комплексному воздействию высоких температур, термического шока и химической эрозии расплавами. Использование таких материалов позволяет минимизировать поток тепла через стенки тигля и существенно увеличить межремонтный период эксплуатации печи, снижая затраты на техническое обслуживание и простои оборудования [3, с. 96].

Дальнейшее повышение энергоэффективности достигается за счет перехода от однородной к многослойной конструкции футеровки. Рабочий огнеупорный слой дополняется внешними теплоизоляционными барьерами, созданными из легковесных материалов с предельно низкой теплопроводностью. Перспективным направлением является использование вакуумно-порошковой изоляции, принцип работы которой заключается в создании разряжения в замкнутом пространстве между обкладками. При этом подавляется перенос тепла за счет конвекции и теплопроводности. Многослойная структура создает последовательный

термический барьер, эффективно аккумулирует тепло в рабочем пространстве печи и снижает тепловые потери в окружающую среду.

*Системные и вспомогательные решения повышения энергоэффективности литейного производства.* Снижение общего энергопотребления литейного производства достигается за счет внедрения комплексных энергосберегающих стратегий. Эти решения направлены на системную оптимизацию энергетических потоков всего предприятия и позволяют достичь значительной экономии за счет рационального использования вторичных ресурсов и повышения эффективности работы вспомогательных систем.

Значительный потенциал энергосбережения заключается в утилизации тепловых потерь технологического процесса. Перспективным направлением является повторное использование тепла отходящих газов плавильных агрегатов. Организация замкнутых теплотехнических циклов позволяет утилизировать низкопотенциальное тепло для решения производственных задач. Практическая реализация осуществляется через установку рекуперативных теплообменников, в которых тепловая энергия газов передается теплоносителю для последующего подогрева шихтовых материалов или обеспечения теплом производственных помещений. Внедрение таких систем способно обеспечить возврат теряемой тепловой энергии обратно в технологический процесс и сокращает потребление первичных энергоресурсов [4, с. 47].

Одним из важных путей снижения энергопотребления является оптимизация работы электросетей, питающих плавильные установки. Современное оборудование для плавки, использующее мощные электронные преобразователи, создает значительные помехи в сети и вызывает дополнительные потери электроэнергии. Для решения этой проблемы применяются специальные компенсирующие устройства. Их использование позволяет скорректировать режим потребления энергии, нейтрализовать негативное влияние помех и привести основные показатели качества электроэнергии в соответствие с нормативными требованиями. В результате достигается существенное сокращение потерь в линиях электропередач и распределительных трансформаторах, а также снижается нагрузка на основное технологическое оборудование, что ведет к увеличению срока его службы.

Снижение энергопотребления в литейном производстве является комплексной задачей, требующей системного подхода. Наиболее значимый эффект достигается при синергии нескольких направлений: правильного выбора и регулярного обслуживания оборудования, точного контроля технологических параметров плавки, внедрения прогрессивных материалов футеровки и реализации общецеховых энергосберегающих мероприятий. Интенсификация технологических процессов, включая оптимизацию шихтовки и автоматизацию управления мощностью, показывает высокую эффективность как ключевое направление в ресурсосбережении. Реализация предложенных стратегий позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы, повысить общую производительность и экологическую безопасность литейного производства.

## Список литературы:

1. Ровин, Л. Е. Сокращение расхода электроэнергии при плавке чугуна и стали / Л. Е. Ровин, С. Л. Ровин // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 3 (72). – С. 18-31;
2. Ровин, Л. Е. Высокотемпературный подогрев шихты в загрузочных бадьях / Л. Е. Ровин, С. Л. Ровин // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого*. – 2014. – № 1. – С. 29-38;
3. Пашков, Е. И. Современные технологии футеровки газоходов тепловых агрегатов огнеупорными материалами / Е. И. Пашков, М. Б. Пермяков, Т. В. Краснова // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2021. – № 6 (108). – Ч. 1. – С. 95-99.
4. Кукуй, Д. М. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в литейном производстве / Д. М. Кукуй, С. Л. Ровин, Л. Е. Ровин // *Литье и металлургия*. – 2011. – № 4 (63). – С. 45-52.

**Аннотация:** в работе проведен анализ стратегий снижения энергопотребления плавильных печей. Рассматриваются методы интенсификации технологических процессов, модернизации футеровки и внедрения системных решений. Ключевыми направлениями, рассматриваемыми в работе, являются оптимизация работы вспомогательного оборудования и использование вторичных энергоресурсов для повышения энергоэффективности литейного производства.

**Ключевые слова:** плавильная печь, энергопотребление, энергоэффективность, литейное производство, футеровка, оптимизация плавки, ресурсосбережение.