



*The carried out calculations showed that partial modernization of thermal furnaces of machine building production by means of replacement of chamotte by fibrous fettling is economically reasonable and has rather short period of payback.*

В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ, И. А. ТРУСОВА, Д. В. МЕНДЕЛЕВ, П. Э. РАТНИКОВ, БНТУ

УДК 669.04

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛОКНИСТОЙ ФУТЕРОВКИ В ТЕРМИЧЕСКИХ ГАЗОПЛАМЕННЫХ ПЕЧАХ И ПЕЧАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе [1] приведена методика выбора энергоэффективной футеровки для термических печей. В процессе эксплуатации этих печей состояние температурного поля футеровки не стационарно: периоды разогрева чередуются с периодами охлаждения во время выгрузки нагретых и загрузки холодных деталей и заготовок. При этом футеровка теряет, а затем аккумулирует часть теплоты, которая подается в печь. Аналогичная ситуация может возникать в рассматриваемых печах при разогреве после остановки. Количество теплоты, израсходованное на разогрев кладки или аккумулированное ею, зависит от массы (плотности) и теплоемкости футеровочных материалов. Вместе с тем, в работе [1] установлено, что соблюдение требований техники безопасности при работе с высокотемпературным технологическим оборудованием требует, чтобы температура на наружных поверхностях печи (контактирующая с обслуживаемым персоналом) не превышала допустимого уровня 38–40 °С, а с введением Санитарных норм, правил и гигиенических нормативов «Гигиенические требования к организации технологических процессов и производственному оборудованию» Министерством здравоохранения Республики Беларусь (Постановление № 93 от 13.07.2010 г.) температура нагретых поверхностей оборудования на рабочих местах не должна превышать 45 °С.

Исходя из этого, необходимо увеличивать термическое сопротивление используемой футеровки. Существуют три способа увеличения термического сопротивления: использование материалов с меньшим коэффициентом теплопроводности, увеличение толщины футеровки и применение того и дру-

гого в совокупности. При этом следует отметить, что для существующих волокнистых футеровок величина снижения теплового потока при последовательном увеличении значения толщины с 0,25–0,35 м на 0,05 м составляет менее 1%. Это означает, что при увеличении толщины футеровки с 0,25 до 0,5 м снижение теплового потока в среднем составит менее 3%. При этом стоимость футеровки возрастает в 2 раза. На основании изложенного выше температурный диапазон применения волокнистой футеровки ограничивается 55–75 °С на ее внешней поверхности. Для достижения необходимой температуры на поверхности футеровки печи нужно обшить футеровку печи жстью. При этом воздушная прослойка между жстью и внешней поверхностью футеровки может составлять до 18 мм [1].

Используемые термические газопламенные печи и печи сопротивления в машиностроительном производстве в большинстве случаев имеют однослойную футеровку из шамотного кирпича. Печи, как правило, обшиты жстью толщиной 12 мм без воздушной прослойки между ней и шамотом. Рабочая температура печей не превышает 1100 °С. Время термообработки составляет в среднем 80 мин. Для указанного примера выполнены соответствующие расчеты температурного поля и тепловых потоков для футеровки. На рис. 1 приведены результаты расчета температурных профилей существующей (однослойный шамот) и предлагаемой футеровок (двухслойная: Fiberfrax Dura-board LD 120, Insulfrax S).

На рис. 2 показаны расчетные плотности тепловых потоков с внешней поверхности рассматриваемых футеровок.

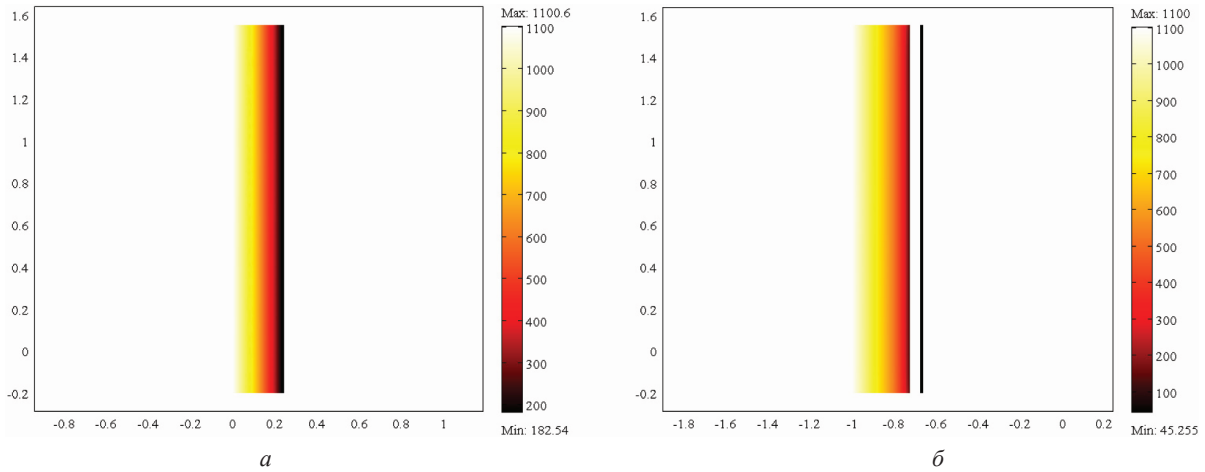


Рис. 1. Температурный профиль футеровки термических печей, °С: *а* – существующий вариант; *б* – предлагаемый вариант

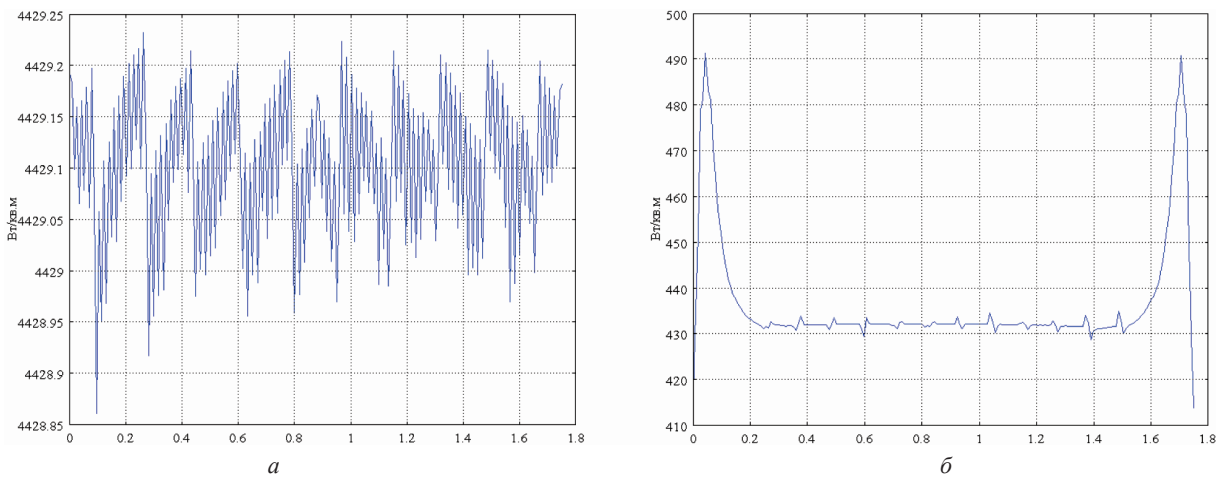


Рис. 2. Плотность теплового потока с внешней поверхности футеровки термических печей: *а* – существующий вариант; *б* – предлагаемый вариант

Из рисунка видно, что плотность теплового потока с внешней поверхности футеровки на порядок ниже в предлагаемом варианте, чем в существующем. При этом следует отметить, что общий объем футеровки для обоих вариантов одинаковый (толщина и площадь поверхности сохраняются).

На основании оценки величины снижения тепловых потерь с одного  $1 \text{ м}^2$  внешней стороны футеровки при использовании волокнистых материалов был выполнен технико-экономический расчет сроков окупаемости предлагаемой футеровки для термических газопламенных печей и печей сопро-

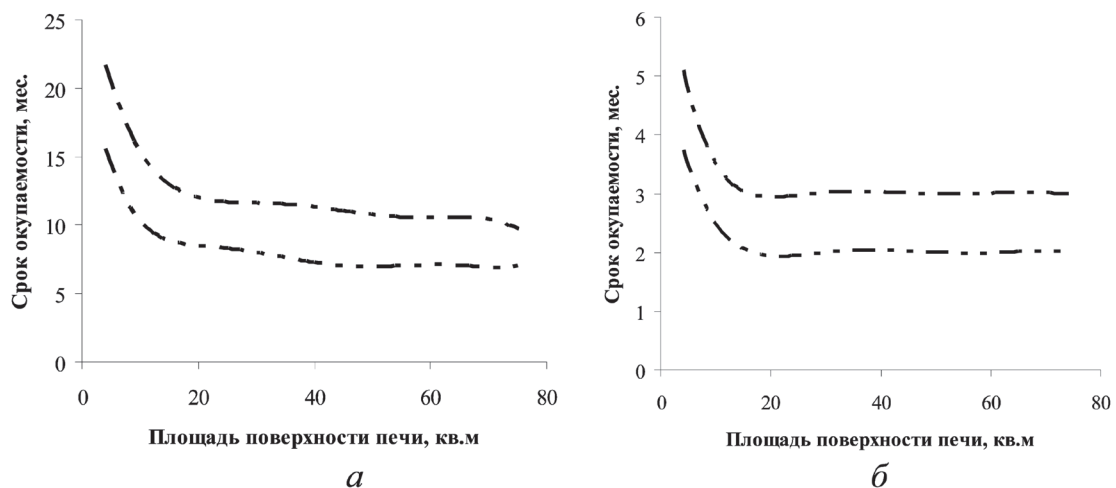


Рис. 3. Оценка экономической эффективности применения волокнистой футеровки в термических печах машиностроительного производства: *а* – газопламенные печи; *б* – печи сопротивления; 1 – 3840 ч работы печи в год; 2 – 5760 ч работы печи в год

тивления. В расчете были учтены транспортные (2000 долл. США) и монтажные расходы (15% от стоимости футеровки). Стоимость природного газа принята 287 долл. США за 1000 м<sup>3</sup>, стоимость электроэнергии – 0,14 долл. США за 1 кВт·ч.

На рис. 3 приведена оценка экономической эффективности применения волокнистой футеровки

в термических печах машиностроительного производства.

Выполненные расчеты показали, что частичная модернизация термических печей машиностроительного производства путем замены шамотной на волокнистую футеровку экономически целесообразна и имеет достаточно малые сроки окупаемости.

#### Литература

1. Тимошпольский В. И., Трусова И. А., Несенчук А. П., Менделев Д. В., Герман М. Л. Теплотехническое обоснование выбора энергоэффективной футеровки нагревательных и термических печей машиностроительных предприятий // Изв. вузов и энерг. объедин. СНГ. Энергетика. 2009. № 4. С. 48–55.