

**Висновки.** 1. Розроблено організаційно-технологічні рішення початкових етапів розбирання завалів зруйнованих будівель на транспортних мережах, які полягають у почерговому використанні бульдозерів із поворотним відвалом та бульдозерів-розпушувачів із захватами.

2. Розроблено технологічні засоби для схоплення та транспортування уламків різного розміру та ваги на базі бульдозерів-розпушувачів.

3. Визначено вантажопідйомність та експлуатаційна продуктивність бульдозерів-розпушувачів із захватами при переміщенні окремих уламків.

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. **Бакин В. П., Батыгин Н. С.** Снос поврежденных при землетрясениях зданий // Механизация строительства, 1989. – № 6. – С. 10 – 11.

2. **Бакин В. П.** Механизация на разборке завалов // Механизация строительства, 1989. – № 5. – С. 7 – 8.

3. **Марков А. И., Маркова М. А.** Аварии зданий и сооружений. Запорожье: ООО «Настрой», 2008. – 84 с.

4. **Мірошніченко М.** Вибух газу – «це урок, який повинна засвоїти держава»// Надзвичайна ситуація, 2007. – № 10. – С. 8 – 15.

5. Неукротимая планета // Д. Берни, Д. Гилпин, С. Койн, П. Симонс / Пер. с англ. ЗАО «Изд. Дом Ридерз Дайджест», 2008. – 319 с.

6. Трагічний вибух у Євпаторії // Надзвичайна ситуація, 2009. – № 1. – С. 8 – 15.

7. **Хмара Л. А., Шатов С. В.** Определение параметров бульдозеров для ликвидации последствий стихийных бедствий и техногенных аварий / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2008. – № 1 – 2. – С. 81 – 89.

8. **Хмара Л. А., Шатов С. В., Школа О. О.** Визначення вантажопідйомності бульдозерів при їх використанні на розбиранні завалів зруйнованих споруд / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2008. – № 6 – 7. – С. 22 – 29.

9. **Хмара Л. А., Шатов С. В.** Научные основы обоснования организационно-технологических решений разборки завалов разрушенных зданий / Мат. междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех – 2010». Белгород : Гос. обр. учрежд. высш. проф. образов. Белгородский гос. техн. ун-тет им. В. Г. Шухова, 2010. – С. 216 – 224.

10. **Шатов С. В.** Технологічні особливості розбирання завалів зруйнованих будівель при обмежених транспортних мережах / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2010. – № 12. – С. 62 – 67.

11. **Шатов С. В.** Технологічні засоби для розбирання завалів зруйнованих будівель на транспортних мережах / Вісник Придніпр. держ. акад. буд. та архітект. – Д. : ПДАБА, 2011. – № 9. – С. 36 – 41.

12. **Чумак С. П.** Основы разработки технологии и управления процессами аварийно-спасательных работ при разрушениях зданий и сооружений // Пробл. безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М. : ВИНТИ. – 2008. – Вып. 4. – С. 55 – 62.

13. **Державний стандарт України.** ДСТУ 3311-96. Бульдозери. Терміни та визначення. – К. : Держстандарт України. – 1996. – 18 с.

УДК 697.7

#### РАСЧЕТ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО ГАЗОВОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПОВЫШЕННОГО ЛУЧЕИСПУСКАНИЯ С КОНЦЕНТРИРОВАННЫМ ПОТОКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

*В. Ф. Иродов, д. т. н., проф., Д. Е. Осетянская, асс.*

**Ключевые слова:** *техническое решение, повышенное лучеиспускание, концентрированный тепловой поток, трубчатый газовый нагреватель, математическая модель, лучистый КПД*

**Введение.** При решении многих задач тепловой энергетики необходимо максимально использовать лучистую тепловую энергию от газовых инфракрасных нагревателей, в то же время имеет место значительная потеря полезной теплоты за счет большой доли конвективной составляющей процесса теплообмена. Например, при лучистом отоплении нагретый воздух,

который выпускается в отапливаемое помещение, собирается в верхней зоне помещения и неэффективно используется в процессе обогрева.

**Анализ публикаций.** Известно устройство для лучистого отопления [4], содержащее газовую горелку, трубчатый линейный нагреватель и расположенный над ним отражатель теплового излучения с поверхностной теплоизоляцией, выполненный в виде многослойного зонта, с выпуском горячего воздуха в отапливаемое помещение, а также вытяжной вентилятор. При применении данного устройства значительная часть теплоты тратится на конвективный нагрев воздуха, в то время как во многих случаях важно получать именно лучистую тепловую энергию.

Известно техническое решение лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания [3], который содержит газовую горелку, трубчатый линейный нагреватель, расположенный над ним отражатель теплового излучения, вытяжной вентилятор и патрубок забора свежего воздуха, дополнительный отражатель для образования воздуховода и патрубков для подачи нагретого воздуха в газовую горелку, соединенный с патрубком забора свежего воздуха. Данное техническое решение позволяет повысить лучистую составляющую в тепловом потоке за счет использования для горения воздуха, конвективно нагретого от излучателя. Математическая модель газового лучистого нагревателя повышенного лучеиспускания представлена в [1; 2]. Однако данное техническое решение, хоть и повышает лучистую составляющую теплового потока, но не может обеспечить концентрирование потока излучения на поверхность небольшой заданной площади, тогда как при решении многих инженерных задач это необходимо.

**Цель статьи.** Разработка технического решения трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, его математической модели и расчет параметров его работы.

Авторами предлагается техническое решение трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, который, как и [1], в своей конструкции имеет газовую горелку, трубчатый нагреватель, отражатель теплового излучения, вытяжной вентилятор. Отличиями от ранее известного технического решения являются:

- трубчатый нагреватель нелинейного типа, что позволяет концентрировать и направлять тепловой поток излучения на поверхность небольшой площади (рис. 1, 2);
- для увеличения общей тепловой мощности концентрированного потока излучения можно объединять несколько нагревателей повышенного лучеиспускания под один отражатель (рис. 1, 2).
- имеется только основной отражатель теплового излучения, тогда как в [3] существует дополнительный отражатель для образования воздуховода;
- воздуховод для забора нагретого воздуха выполнен таким образом, что позволяет отбирать воздух непосредственно из-под отражателя и максимально направлять его на горение в необходимом объеме (рис. 3);
- газогорелочный блок состоит из двух смежных частей – в одной из них располагается непосредственно газовая горелка, в другом, отделенном изолированной перегородкой, размещается блок автоматики безопасности.

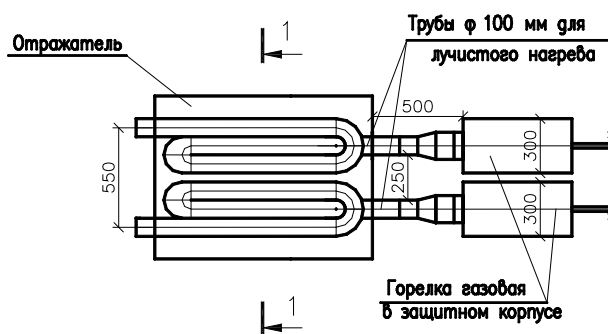


Рис. 1. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Вид сверху

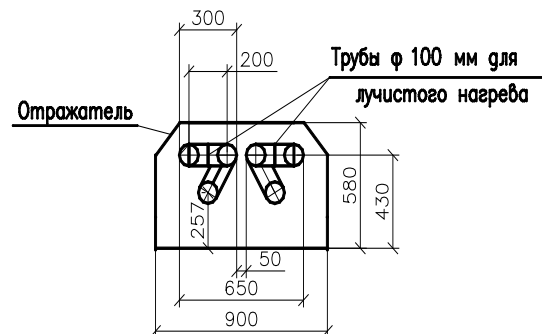


Рис. 2. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком. Разрез 1-1

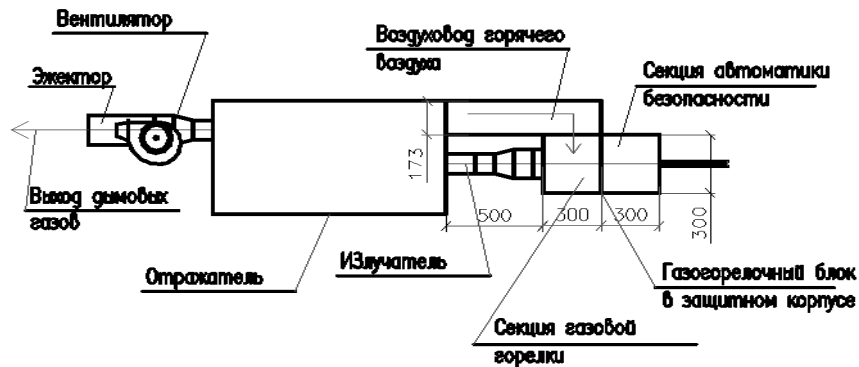


Рис. 3. Газовый лучистый нагреватель повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Вид сбоку

Движение продуктов сгорания может осуществляться через эжектор с применением приточного вентилятора. Тогда для каждого из нагревателей повышенного лучеиспускания, объединенных под общий отражатель, применяется индивидуальный вентилятор, эжектор, газогорелочный блок, набор нелинейных излучателей.

Математическая модель теплового и гидравлического режимов газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Математическая модель основного участка основывается на следующих уравнениях:

- уравнение сохранения массы:

$$cwF = M = const, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность газа;  $w$  – средняя линейная скорость движения газа по трубе-излучателю;  $F$  – площадь поперечного сечения излучателя.

- уравнение состояния газовой смеси в виде уравнения состояния идеального газа:

$$P = cRT, \quad (2)$$

где  $P$  – абсолютное давление в сечении воздуховода;  $T$  – абсолютная температура газовой смеси в данном сечении воздуховода;  $R$  – газовая постоянная, зависящая от состава газовой смеси после полного сгорания горючего газа.

- уравнение движения газовой смеси внутри трубы-излучателя:

$$\frac{dP}{c} + \frac{\lambda}{d} \frac{w^2}{2} dl = 0, \quad (3)$$

где  $dP$  – перепад давления при течении газа в воздуховоде-излучателе на участке длиной  $dl$ ,  $\lambda$  – коэффициент трения,  $D$  – внутренний диаметр излучателя.

Далее составим уравнение теплового баланса для элементарного участка трубы-излучателя длиной  $dl$ :

$$dQ_{\text{вн}} = Vc_p dT = dQ1^K + dQ1^I = dQ_2 = dQ_3 + dQ_4, \quad (4)$$

где  $dQ_{\text{вн}}$  – теплота, выделяющаяся при горении топлива;  $c_p$  – изобарная теплоемкость газовой смеси;  $dQ1^K$  – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе конвективного теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной  $dl$ ;  $dQ1^I$  – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе лучистого теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной  $dl$ ;  $dQ2$  – тепловой поток от внутренней поверхности стенки трубы-излучателя к наружной поверхности, передаваемый теплопроводностью на участке  $dl$ ;  $dQ3$  – тепловой поток излучением от поверхности излучателя в окружающую среду помещения на участке  $dl$ ;  $dQ4$  – тепловой поток от наружной стенки излучателя в окружающее пространство помещения, передаваемый конвекцией на участке  $dl$ .

При отсутствии теплопотуплений в трубу-излучатель уравнение (4) запишется в виде:

$$di = c_p dT = -dQ_2, \quad (5)$$

где  $di$  – изменение энтальпии газовой смеси.

С учетом теплоты горения факела изменение энтальпии смеси:

$$di = c_p dT = -dQ_2 + dQ_f, \quad (6)$$

где  $dQ_f$  – тепловой поток, выделяющийся при горении факела.

Определяющими для данной математической модели являются начальные условия, которые учитывают параметры воздуха, поступающего на горение, и в начальной точке длины трубы  $l = 0$  записываются в виде:

$$i(l = 0) = c_{p1} \cdot t_B + c_{p2} \cdot t_G \quad (7)$$

$$(V_B + V_G) i(l = 0) = c_{p1} \cdot t_B \cdot V_B + c_{p2} \cdot t_G \cdot V_G \quad (8)$$

где  $i$  – энтальпия газовой смеси в начальной точке трубы-излучателя;  $c_{p1}$  и  $c_{p2}$  – соответственно средние объемные изобарные теплоемкости воздуха, идущего на горение, и газа;  $t_B$  и  $t_G$  – соответственно температуры воздуха и газа.  $V_B$ ,  $V_G$  – соответственно объемные расходы воздуха и газа.

Имеем:

- тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе конвективного теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной  $dl$ :

$$dQ_1^K = \alpha_1 \cdot (T - T_S) \cdot F \cdot dl, \quad (9)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от газовой смеси к внутренней стенке трубы-излучателя;  $T$  и  $T_S$  – соответственно температуры газовой смеси и внутренней стенки трубы-излучателя;  $F$  – длина окружности в сечении трубы-излучателя.

- $dQ_1^L$  – тепловой поток от газа к внутренней стенке излучателя, передаваемый в процессе лучистого теплообмена, в данном сечении на элементарном участке длиной  $dl$ :

$$dQ_1^L = \varepsilon_\Gamma \cdot c_0 \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \cdot F \cdot dl, \quad (10)$$

где  $\varepsilon_\Gamma$  – степень черноты газового слоя, зависящая от температуры, давления и толщины слоя газа, которая определяется как сумма степеней черноты воздуха и газа;  $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

- $dQ_3$  – тепловой поток излучением от поверхности излучателя в окружающую среду помещения на участке  $dl$ :

$$dQ_3 = \varepsilon_\Gamma \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{OS}}{100}\right)^4\right], \quad (11)$$

где  $T_{OS}$  – температура окружающей среды.

$$dQ_4 = \alpha_2 \cdot (T_S - T_{OS}), \quad (12)$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от наружной стенки трубы-излучателя в окружающую среду.

При интегрировании уравнений (1, 2, 3) необходимо знать  $dT$ , которое определяется с учетом уравнений (9) и (12), в которых неизвестной величиной является  $T_S$ . Величину  $T_S$  можно определить из уравнения теплового баланса (4).

При выполнении расчетов количество нагретого воздуха, поступающего на горение, было принято известной величиной  $g = 80 \text{ м}^3/\text{час}$ , что соответствует коэффициенту избытка воздуха  $\alpha \approx 2$ .

**Результаты и их обсуждение.** Результаты расчета графически представлены на рисунках 4 – 6.

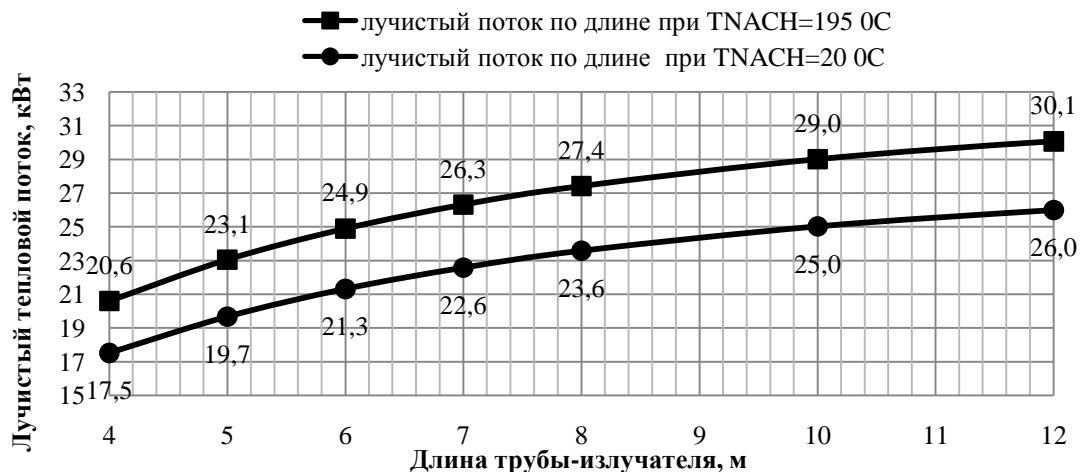


Рис. 4. Зависимость величины лучистого потока от длины трубы-излучателя

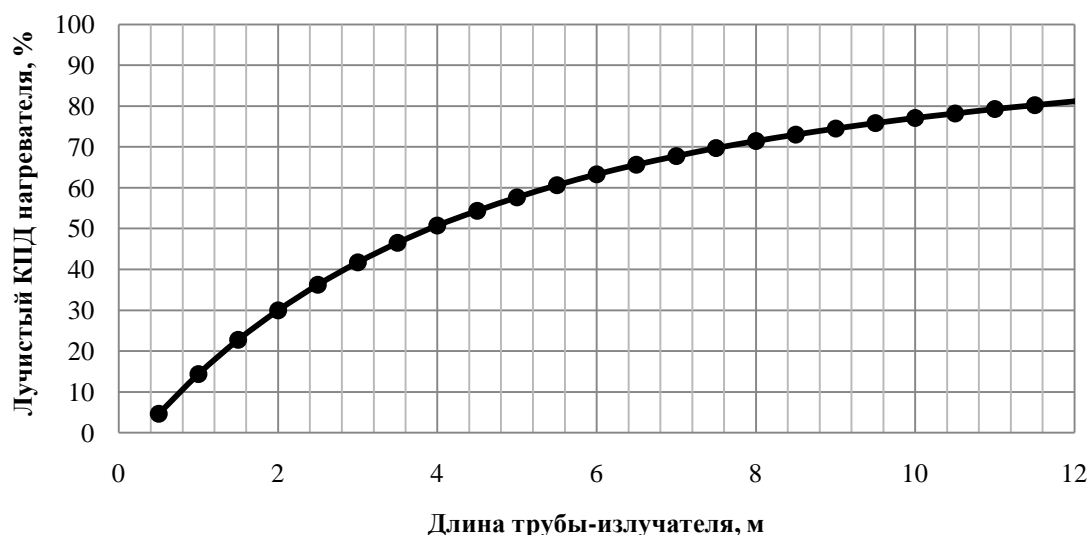


Рис. 5. Залежність температури конвективно нагрітого повітря від довжини ізлучача

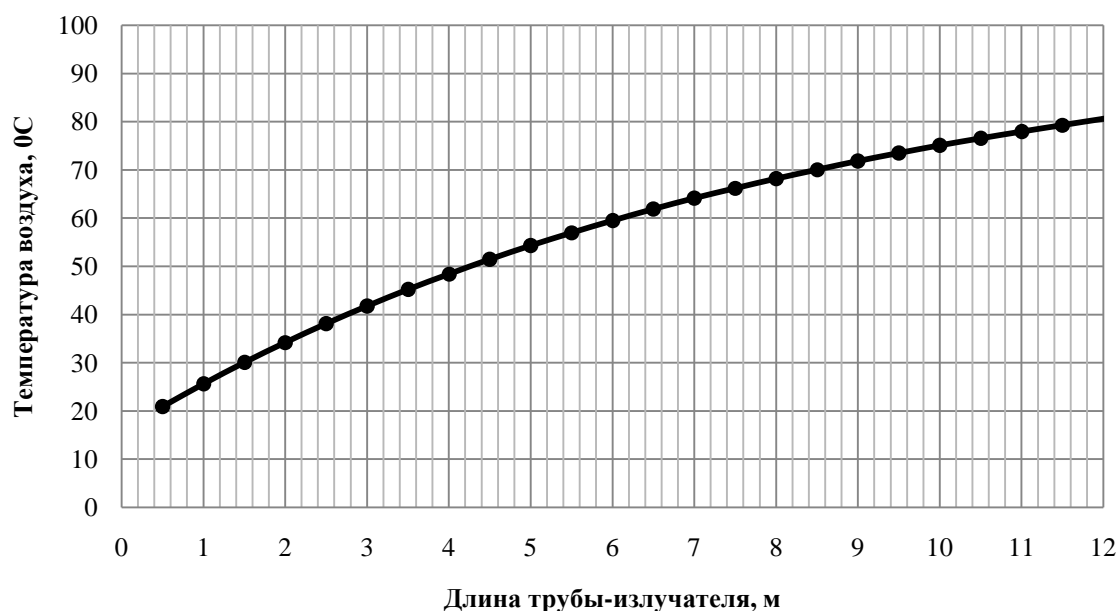


Рис. 6. Залежність лучистого ККД довжини ізлучача

Результати розрахунку підтверджують ефективність використання конвективно нагрітого від ізлучача повітря на горіння.

При подачі на горіння нагрітого до температури  $195^{\circ}\text{C}$  повітря при довжині ізлучача 12 м лучистий тепловий потік збільшується на 4,1 кВт і становить 30,1 кВт (рис. 4).

Були визначені температури, які матиме повітря, нагрітий від труби-ізлучача при певній її довжині. Згідно розрахунків температура нагрітого повітря, поступаючого на горіння, не перевищує  $100^{\circ}\text{C}$  і при довжині ізлучача 12 м становить  $81^{\circ}\text{C}$ . Значення температур нагрітого повітря при інших довжинах ізлучача можна визначити за рисунком 6.

Розрахунком визначено ККД нагрівача за ступенем теплового випромінювання (лучистий ККД). Результати розрахунку підтверджують підвищення випромінювальної здатності нагрівача за рахунок використання конвективно нагрітого повітря на горіння. Лучистий коефіцієнт корисної дії нагрівача з концентрованим потоком випромінювання при довжині 12 м становить понад 80 % (рис. 5).

**Висновки.** 1. Предложено технічне рішення трубчатого газового нагрівача підвищеного випромінювання з концентрованим потоком випромінювання, конструкція якого дозволяє використовувати на горіння конвективно нагрітий від ізлучача повітря.

2. Разработана математическая модель теплового и гидравлического режимов газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения, основанная на основных уравнениях теплового баланса, уравнениях сохранения массы, движения и состояния газовой смеси, с учетом параметров воздуха, поступающего на горение.

3. Выполнен расчет параметров работы трубчатого газового нагревателя повышенного лучеиспускания с концентрированным потоком излучения. Определены температуры, которые будет иметь воздух, нагретый от трубы-излучателя при определенной ее длине. Расчетом определен КПД нагревателя по степени теплового излучения (лучистый КПД). Результаты расчета подтверждают повышение излучательной способности нагревателя за счет использования конвективно нагретого воздуха на горение. Лучистый коэффициент полезного действия нагревателя с концентрированным потоком излучения при общей длине излучателя 12 м составляет свыше 80 %.

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. **Иродов В. Ф.** Моделирование трубчатого нагревателя повышенного лучеиспускания как гидравлической цепи с переменными и регулируемыми параметрами / В. Ф. Иродов, Д. Е. Осетянская // Системный анализ и информационные технологии: Мат. Междунар. науч.-технич. конф. САИТ 2011, Киев, 23 – 28 мая 2011 г. / УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ». – К. : УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2011. – С. 16 – 30.

2. **Иродов В. Ф.** Повышение эффективности трубчатых газовых нагревателей для лучистого отопления / В. Ф. Иродов, Д. Е. Осетянская // Строительство, материаловедение, машиностроение // Сб. науч. тр. – Вып. 59. – Д. ПГАСА, 2011. – С. 77 – 82.

3. Пат. 59891 України, МПК (2011.01), F24D 15/00, F24C 15/00. Променивий нагрівач / Иродов В. Ф., Осетянська Д. Є., Хацкевич Ю. В.; власник Державний ВНЗ «ПДАБА». – № u201010626; заявл. 02. 09. 10; опубл. 10. 06. 11, Бюл. № 11.

4. Пат. 87028 України, МПК (2006), F24D 10/00, F24D 15/00, F24C 15/00. Пристрій для променевого опалювання / Редько А. О., Болотських М. М.; власник Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури – № a200709448; заявл. 20. 08. 2007; опубл. 10. 06. 2009, бюл. № 11.

УДК 621.746.464 : 666.974.2

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА ФУТЕРОВКИ ПРИБЫЛЬНЫХ НАДСТАВОК НА КАЧЕСТВО МЕТАЛЛА В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ СЛИТКА

*А. Ю. Конопляник, к. т. н., доц.*

**Ключевые слова:** *качество металла, прибыльная надставка, жаростойкий бетон, футеровка, слитки, усадочные дефекты, головная обрезь*

**Постановка проблемы.** На Алчевском металлургическом комбинате была отработана технология изготовления двухслойной футеровки прибыльных надставок из жаростойкого бетона [1]. Опытные промышленные испытания надставок показали, что применение жаростойкого бетона для изготовления футеровки позволяет повысить в среднем в 2 раза стойкость рабочего слоя футеровки по сравнению с футеровкой из шамотного кирпича. Кроме того, учитывая лучшую теплоизолирующую способность футеровки из жаростойкого бетона по сравнению с футеровкой из шамотного кирпича, закономерно ожидать снижения потерь тепла через боковую поверхность надставки и уменьшения распространения усадочных дефектов в тело слитка.

**Анализ публикаций.** Ранее было исследовано влияние состава жаростойкого бетона на качество металла в головной части слитка [2; 3]. Исследования были проведены при различных способах разлива и разливе различных марок сталей в слитки массой 8,5 и 24 т. Проведенные исследования показали, что лучшая теплоизолирующая способность прибыльных надставок с футеровкой из жаростойкого бетона позволяет снизить отходы металла с головной обрезью в среднем на 0,3 – 1,0 %.