

УДК 621.1

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-58-63

Моделирование высокотемпературного нагрева лома

К.В. Строгонов, А.А. Чаймелов

В настоящее время одной из приоритетных задач является снижение себестоимости производства продукции. Сталеплавильное производство, как высокотемпературный процесс обладает существенными резервами по уменьшению затрат.

Одни из основных направлений по снижению себестоимости и повышению качества продукции при производстве стали — предварительная сушка и нагрев лома. Применение сушки и подогрева позволяет:

существенным образом изменить материальные и тепловые балансы сталеплавильных агрегатов, снижая при этом себестоимость за счет электроэнергии в дуговых печах или благодаря уменьшению доли чугуна в конверторах;

исключить паровые взрывы;

сократить попадание неметаллических включений в металл;

уменьшить время плавки и период простоев на ремонт печи;

повысить производительность сталеплавильных процессов.

Поставлена задача повышения энергетической и экономической эффективности на примере электросталеплавильного процесса литейного производства.

Представлено запатентованное авторами решение по устройству предварительного нагрева шихты в бадах для подачи лома для выплавки стали в дуговой электрической печи (ДСП), отличающееся наличием стальной вставки с теплоизолирующим слоем. Даны результаты расчетов тепловых балансов печи для вариантов без подогрева и с подогревом лома до 600 °С. Подогрев лома до более высоких температур приводит к интенсивному окислению металла, тяжелым условиям работы бады и потерям теплоты с уходящими газами.

Приведены результаты математического моделирования стенда высокотемпературного нагрева в программно-вычислительном комплексе ANSYS Academic Student Release 19.2. Подведены итоги подбора оборудования для предварительного высокотемпературного нагрева лома, оценены капитальные затраты, рассчитан экономический эффект от перехода на предварительный подогрев лома природным газом, который для рассматриваемых условий составил 43,4 млн руб. в год. Дана оценка простого и дисконтированного сроков окупаемости внедрения предлагаемого и математически исследованного технического решения.

Ключевые слова: высокотемпературный нагрев, стенд нагрева, металлический лом, радиационная горелка, выплавка стали, снижение затрат, математическое моделирование.

Для цитирования: Строгонов К.В., Чаймелов А.А. Моделирование высокотемпературного нагрева лома // Вестник МЭИ. 2019. № 6. С. 58—63. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-58-63.

Modeling the High-Temperature Heating of Scrap Metals

K.V. Strogonov, A.A. Chaymelov

Reducing the net cost of producing goods is currently among the top-priority challenges. Steelmaking as a high-temperature process has significant reserves to reduce costs.

Predrying and preheating of scrap metal is one of the main methods aimed at reducing the net cost and improving the quality of products in the steel making process. The subjecting of scrap metal to drying and heating allows the following gains to be obtained:

The material and thermal balances of steelmaking units are modified significantly, thus resulting in a reduced net cost due to smaller consumption of electricity in arc furnaces or due to a smaller proportion of cast iron in the converters.

The possibility of steam explosions is eliminated.

A smaller amount of non-metallic inclusions is obtained in the metal.

The melting process takes a shorter period of time.

The furnace repair outage time is decreased.

Better productivity of steelmaking processes is achieved.

The objective of improving energy and economic efficiency is set forth taking the electric steelmaking process as an example.

A solution for arranging the preheating of charge in the buckets for feeding scrap metal for smelting steel in an electric arc furnace, which has been patented by the authors and distinguished by using a steel insert with a heat-insulating layer, is presented. The results from calculations of the furnace thermal balances for the versions without heating the scrap and with heating it to 600°C are given. It is pointed out that the heating of scrap to higher temperatures leads to intensive oxidation of the metal, more severe bucket operation conditions, and heat losses with the flue gases. The results of mathematically modeling the high-temperature heating stand in the ANSYS Academic Student Release 19.2 software and computer system are presented. The results of selecting the equipment for high-temperature preheating of scrap metal are summarized, the capital outlays are estimated, and the economic gain from the transition to preheating of scrap metal by using natural gas is evaluated, the value of which for the conditions considered in the article amounted to 43.4 million rubles per annum. The simple and discounted payback periods of using the proposed and mathematically studied technical solution are estimated.

Key words: high-temperature heating, heating stand, scrap metal, radiation burner, steel smelting, cost reduction, mathematical modeling.

For citation: Strogonov K.V., Chaymelov A.A. Modeling the High-Temperature Heating of Scrap Metal. Bulletin of MPEI. 2019;6: 58—63. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-6-58-63.

Актуальность проблемы

В настоящее время в сталеплавильном производстве особое внимание уделяется снижению себестоимости и повышению качества продукции. Применение газообразного топлива и кислорода, а также тепла отходящих газов для предварительного подгрева лома позволило уменьшить удельный расход электроэнергии с 400...500 кВт·ч/т до 270...330 кВт·ч/т, что существенно снизило и экономические затраты при производстве стали [1 — 3]. Однако подобные мероприятия лишь смягчили обозначенные проблемы электросталеплавильного производства [4].

По мнению авторов [5] предварительный высокотемпературный подгрев шихты (ВПШ) на данный момент является наиболее эффективным методом для сокращения удельных затрат электроэнергии. Данное мероприятие по нагреву лома в загрузочных бадьях позволяет не менять конструкцию и технологические операции на сталеплавильном агрегате [6].

Указанное направление требует поиска оптимального решения как с технологической, так и с экономической точек зрения.

Разработанное техническое решение и описание метода исследования

Минус предлагаемых производителями оборудования технических решений заключается в том, что лом нагревают не выше 350 °С [7]. Подобный низкотемпературный подгрев обеспечивает только удаление влаги и выгорание различных неметаллических элементов, но не позволяет существенным образом изменить тепловой баланс и снизить затраты. Столь низкие температуры объясняются тем, что загрузочная бадья относится к грузонесущему оборудованию, а по установленным правилам техники безопасности во избежание аварий недопустимо снижение механических свойств металла [8, 9].

Это очевидное противоречие удалось преодолеть в результате создания нового способа — ВПШ в загрузочных «бадьях-термосах» [10].

Новый способ и установки для его реализации позволили снять ограничения по температуре нагрева шихты, сохранив при этом преимущества по уровню затрат и универсальности. Первые промышленные установки обеспечили нагрев до 650...750 °С, что вдвое превысило мировой уровень установок подгрева шихты [10]. Следует заметить, что при нагреве до таких высоких температур происходит окисление металла, и образуется большое количество шлака, что снижает эффективность сталеплавильного процесса [11].

На рисунке 1 представлено предлагаемое устройство для нагрева лома в загрузочной бадье [12]. Отличительная особенность предлагаемого стенда — применение вставки с теплоизолирующим слоем для снижения тепловой нагрузки на бадью, а также введение радиационной горелки для равномерного нагрева.

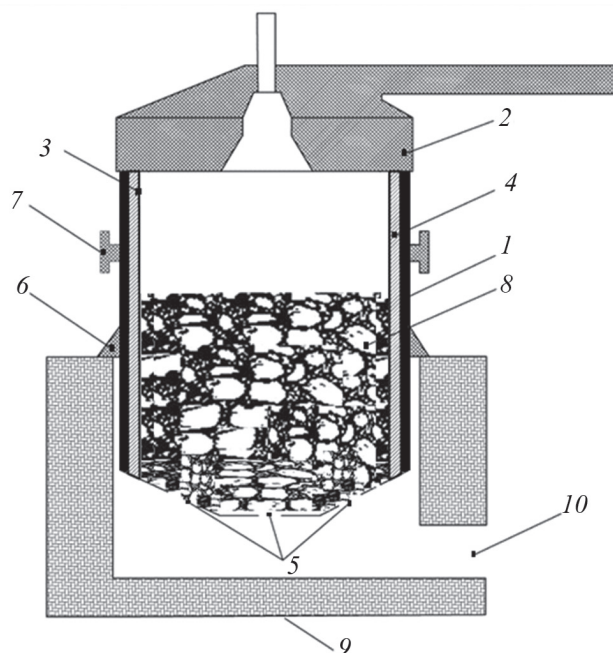


Рис. 1. Стенд для нагрева лома в загрузочной бадье:

1 — корпус; 2 — крышка с радиационной горелкой; 3 — цилиндрическая вставка; 4 — вставка с теплоизолирующим слоем; 5 — створки дна с отверстиями; 6 — опорный фланец; 7 — устройство захвата и транспортировки; 8 — металлический лом; 9 — стенд; 10 — отверстие для удаления отходящих газов

В устройство с корпусом 1 загружают шихту 8 также как и в обычную бадью, но при этом ее располагают внутри футерованной (теплоизолирующей) вставки 4. Затем устройство устанавливают с помощью опорного фланца 6 на стенд 9, сверху накладывают теплоизолированную крышку с радиационной горелкой 2, в которой сжигается топливо. Продукты горения направляют внутрь вставки 3, пропускают сквозь слой шихты 8, перфорированные створки дна 5 и отбирают через отверстие 10 с помощью дымососа.

Футерованная вставка 4 подвешена внутри корпуса бадьи свободно на крюках, равномерно распределенных по периметру корпуса. Вставка выполнена из листовой стали и футеруется с наружной части, она не несет существенных механических нагрузок, при коррозионном износе легко заменяется.

Верхний край вставки 4 устанавливают на уровне верхней кромки корпуса, чтобы не создавать помех при загрузке шихты 8. Высота вставки 4 — не менее 0,6 высоты корпуса. Это сделано для того, чтобы не создавать помехи в работе устройства крепления и поворота створок, но при этом обеспечить допустимый минимальный объем шихты.

В разработанном устройстве обеспечивается нагрев шихты, загружаемой в плавильные печи для выплавки стали и чугуна, до температур не выше 600 °С, что позволяет снизить расход энергии на плавку не менее чем на 20%. Попутно устройство решает задачи сни-

жения потребления газа, и как следствие, уменьшения выбросов вредных веществ (продуктов горения) [13], понижения потребления объемов воздуха, идущего на горение, и исключения расхода воздуха на охлаждение конструкции, а значит, и снижения потребления электроэнергии, необходимой для нагнетания (подачи) воздуха [14].

Тепловые балансы сталеплавильной печи без подогрева и с учетом подогретого лома представлены в табл. 1. Продолжительность периода плавки для ДСП-6 — 1800 с [15].

После расчета теплового баланса ДСП, работающей с предварительным подогревом лома, получено количество электроэнергии, необходимое на выплавку стали. Результат расчета оказался ниже результата, полученного без подогрева лома, что говорит о том, что переход производства на предварительный подогрев шихты ведет к уменьшению потребления электроэнергии, однако появляются расходы на природный газ, что указано в табл. 2 [16].

Действенность предварительного нагрева шихты подтверждена расчетом экономического эффекта. Суммарные затраты при использовании в качестве топлива

для предварительного нагрева шихты природного газа оказались существенно ниже, чем при обычной плавке. Простой срок окупаемости оценивается в 8,1 месяца. В экономических расчетах не учитывается экономия на огнеупорах, электродах и возможности увеличения производительности печного участка. Ожидаемый экономический эффект для производства двух ДСП емкостью 6 тонн и общей годовой производительностью предприятия в 100 тыс. тонн оценивается в 43,4 млн рублей в год, расчетное значение экономии электроэнергии — 12 315684 кВт·ч в год [17]. По данным технико-коммерческого предложения, выполненного ОАО «ВНИИМТ» (Екатеринбург) по запросу авторов статьи, затраты на установку двух стенов по данной технологии составят 9,4 млн рублей. Затраты на монтажные, пусконаладочные и прочие работы приняты в размере 50% от суммы на оборудование. С целью изучения работы предлагаемого технического решения и для анализа достоверности полученных результатов в качестве моделирующей среды использовался программно-вычислительный комплекс ANSYS Academic Student Release 19.2 [18, 19].

Таблица 1

Тепловые балансы для электродуговой печи емкостью 6 т

Статья баланса	Приход				Расход		
	Без подогрева лома		С подогревом лома		Статья баланса	ГДж	%
	ГДж	%	ГДж	%			
Теплота, вносимая шихтой (лом)	0	0	2,63	22,7	Физическая теплота стали	8,85	82,71
Теплота, вносимая электрическими дугами	7,62	71,3	4,99	48,6	Физическая теплота шлака	0,17	1,45
Теплота экзотермических реакции	2,99	27,9	2,99	27,9	Теплота уходящих газов	0,002	0,01
Теплота шлакообразования	0,09	0,80	0,09	0,80	Теплота через ограждение	0,62	5,81
					Теплота, уносимая частицами	0,52	4,87
					Потери тепла в период межплавочного простоя	0,54	5,15
Итого	10,70	100	10,70	100	Итого	10,70	100

Таблица 2

Результаты экономического эффекта

Показатель	Затраты на производство стали	
	без подогрева	с подогревом
Расход электроэнергии (1 печи в год), кВт·ч	19 649 994	13 492 152
Электроэнергия, руб.	157 199 952	107 937 216
Температура шихты, °	0	600
Расход газа (1 печи в год), м ³	0	491 436
Газ, руб.	0	5 897 232
Общие годовые затраты, руб.	157 199 952	113 834 448
Ожидаемый экономический эффект, руб./год	43 365 504	

Исходными данными являются:

- конструктивные параметры стенда, включая габаритные размеры, количество слоев в бадье с теплоизолирующим слоем и теплоизоляцией крышки, тип материала и толщина каждого слоя;
- порозность — 0,5, масса металлического лома — 6 т, площадь поверхности теплообмена — 72,22 м²;
- коэффициент расхода воздуха — 9,5 м³ на сжигание топлива (природного газа);
- начальное температурное поле в стенках бадьи и металлического лома — $t = 27$ °С;
- конечная температура нагрева лома — $t = 600$ °С.

В модели использованы следующие допущения:

- на наружной поверхности ограждения ковша и его крышки — свободно-конвективный теплообмен, на внутренней поверхности — радиационно-конвективный теплообмен [20];
- в объем ковша из радиационной горелки поступает поток продуктов горения с температурой, равной калориметрической температуре горения топлива при заданном коэффициенте расхода воздуха, предварительный подогрев воздуха не осуществляется;
- режим движения продуктов горения — турбулентный, описываемый стандартной k - ε -моделью турбулентности, соответственно в математическое описание задачи включены уравнения сохранения кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ε .

Задачи исследования:

- установить временной интервал прогрева лома;
- определить порядок температуры несущих конструкций бадьи;
- подтвердить возможность реализации предлагаемого технического решения.

Температурные поля как результат исследования представлены на рис. 2, а, б.

На рисунке 2, б изображен вариант при конечной стадии нагрева, температура лома в центре бадьи со-

ставляет 600 °С. Видно, что температура стенки бадьи практически не меняется и равна 27 °С.

Таким образом, численное моделирование процесса нагрева лома позволило получить представление о состоянии нагрева лома в бадье и определить время нагрева.

Анализ температурных полей в стенках бадьи в процессе нагрева приводит к выводу, что предлагаемая конструктивная схема стенда обеспечивает требуемую равномерность высокотемпературного нагрева лома, а применение вставки с теплоизолирующим слоем гарантирует незначительное тепловое воздействие на конструкцию бадьи.

Выводы

Предлагаемая схема организации сушки и высокотемпературного нагрева металлического лома позволяет ориентировочно на 22% сократить количество энергии в приходной части теплового баланса, поступающей от использования электроэнергии ковшей, в сравнении с вариантом без подогрева лома.

Применение вставки с теплоизолирующим слоем обеспечивает температуру стенки бадьи не выше 27 °С.

Расчетным исследованием скоростных и температурных полей в газовом объеме, объеме металлического лома и вставке с изолирующим слоем установлено, что схема обеспечивает возможность реализации качественного нагрева металлического лома (с равномерным распределением температуры).

Математическая модель стенда для высокотемпературного нагрева лома, разработанная в среде ANSYS Academic Student Release 19.2, позволяет решать комплекс задач по исследованию сушки и нагрева, выработке рекомендаций по выбору конструктивных и режимных параметров процесса, управлению работой стенда.

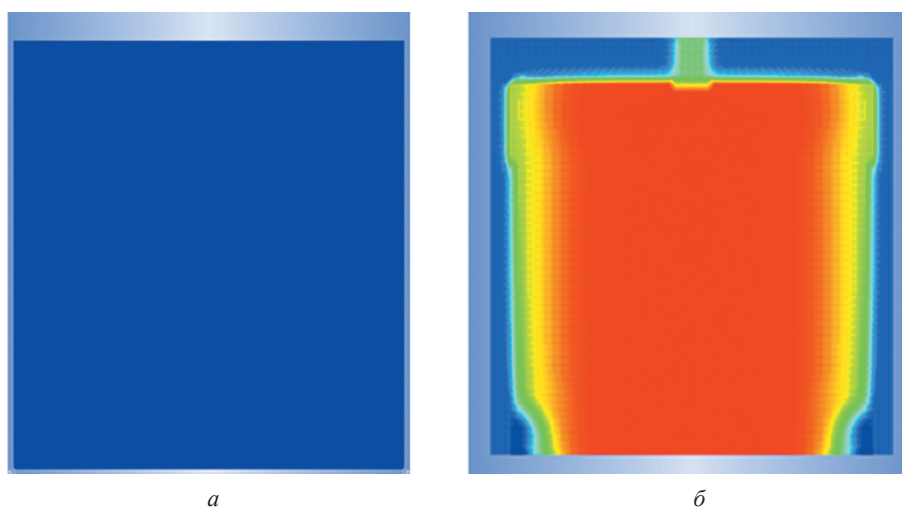


Рис. 2. Распределение температур в бадье:

а — температурное поле в начальный момент времени; б — температурное поле нагрева лома до 600 °С

Литература

References

1. Бегеев А.М., Бигеев В.А. *Металлургия стали. Теория и технология плавки стали*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2000.
2. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. *Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014.
3. Рябов А.В., Чуманов И.В., Шишимиров М.В. *Современные способы выплавки стали в дуговых печах*. М.: Теплотехник, 2007.
4. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. *Общая металлургия*. М.: Академкнига, 2005.
5. *Теория, конструкции и расчеты металлургических печей / под ред. В.А. Кривандина*. М.: Металлургия, 1984.
6. Благонравов Б.П. и др. *Печи в литейном производстве. Atlas конструкций*. М.: Машиностроение, 1989.
7. Ровин Л.Е., Ровин С.Л. *Высокотемпературный подогрев шихты в загрузочных бадьях // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*. 2014. № 1. С. 29—38.
8. Qin J., Qi J.L. *Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining // Advanced Materials Research*. 2013. V. 602—604. Pp. 2082—2086.
9. Кудрин В.А., Шишимиров В.А. *Технологические процессы производства стали*. Ростов-на-Дону: Феникс, 2017.
10. Пат. № 7458 РБ. *Бадья-термос / Л.Е. Ровин, С.Л. Ровин, В.А. Жаранов // Бюл. изобрет.* 2010.
11. Шевченко Е.А., Шаповалов А.Н., Братковский Е.В. *Повышение стойкости футеровки дуговых сталеплавильных печей путем совершенствования шлакового режима с применением магнийсодержащих материалов // Черные металлы*. 2018. № 9. С. 16—21.
12. Пат. № 182800 РФ. *Устройство (бадья-термос) для предварительной сушки и нагрева лома / А.А. Чаймелов, К.В. Строгонов // Бюл. изобрет.* 2018. № 25.
13. Смирнова Е.Ю., Миронова А.Н. *Использование тепла отходящих газов ДСП для подогрева шихты // Электromеталлургия*. 2003. № 10. С. 13—19.
14. Зуев М.В. и др. *Комплекс технологических и технических решений снижения энерго- и материалоемкости процесса выплавки стального полупродукта в современных ДСП // Металлург*. 2014. № 7. С. 45—49.
15. Бигеев А.М. *Математическое описание и расчеты сталеплавильных процессов*. М.: Металлургия, 1982.
16. Чаймелов А.А., Строгонов К.В. *Устройство для сушки и высокотемпературного нагрева лома // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Эколо-*

1. Begeev A.M., Bigeev V.A. *Metallurgiya Stali. Teoriya i Tekhnologiya Plavki Stali*. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorskogo Gos. Tekhn. Un-ta im. G.I. Nosova, 2000. (in Russian).
2. Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Valiakhmetov A.Kh. *Metallurgicheskie Tekhnologii v Vysokoproizvoditel'nom Elektrostaleplavil'nom Tsekhe*. Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorskogo Gosud. Tekhn. Un-ta im. G.I. Nosova, 2014. (in Russian).
3. Ryabov A.V., Chumanov I.V., Shishimirov M.V. *Sovremennye Sposoby Vyplavki Stali v Dugovykh Pechakh*. M.: Teplotekhnik, 2007. (in Russian).
4. Voskoboynikov V.G., Kudrin V.A., Yakushev A.M. *Obshchaya metallurgiya*. M.: Akademkniga, 2005. (in Russian).
5. *Teoriya, Konstruktsii i Raschety Metallurgicheskikh Pechey*. Pod Red. V.A. Krivandina. M.: Metallurgiya, 1984. (in Russian).
6. Blagonravov B.P. i dr. *Pechi v Liteynom Proizvodstve. Atlas Konstruktsiy*. M.: Mashinostroenie, 1989. (in Russian).
7. Rovin L.E., Rovin S.L. *Vysokotemperaturnyy Podogrev Shikhty v Zagruzochnykh Bad'yakh*. Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo. 2014;1:29—38. (in Russian).
8. Qin J., Qi J.L. *Analysis on the Refractory Erosion of the Electric Arc Furnace and Study on the Measures of Protecting the Furnace Lining*. Advanced Materials Research. 2013;602—604:2082—2086.
9. Kudrin V.A., Shishimirov V.A. *Tekhnologicheskie Protsessy Proizvodstva Stali*. Rostov-na-Donu: Feniks, 2017. (in Russian).
10. Pat. № 7458 RB. *Bad'ya-termos*. L.E. Rovin, S.L. Rovin, V.A. Zharanov. Byul. izobret. 2010. (in Russian).
11. Shevchenko E.A., Shapovalov A.N., Bratkovskiy E.V. *Povyshenie Stoykosti Futerovki Dugovykh Staleplavil'nykh Pechey Putem Sovershenstvovaniya Shlakovogo Rezhima s Primeneniem Magniysoderzhashchikh Materialov*. Chernye Metally. 2018;9:16—21. (in Russian).
12. Pat. № 182800 RF. *Ustroystvo (Bad'ya-termos) dlya Predvaritel'noy Sushki i Nagreva Loma*. A.A. Chaymelov, K.V. Strogonov. Byul. izobret. 2018;25. (in Russian).
13. Smirnova E.Yu., Mironova A.N. *Ispol'zovanie Tepla Otkhodyashchikh Gazov DSP dlya Podogreva Shikhty*. Elektrometallurgiya. 2003;10:13—19. (in Russian).
14. Zuev M.V. i dr. *Kompleks Tekhnologicheskikh i Tekhnicheskikh Resheniy Snizheniya Energo- i Materialoemkosti Protsessa Vyplavki Stal'nogo Poluprodukta v Sovremennykh DSP*. Metallurg. 2014;7:45—49. (in Russian).
15. Bigeev A.M. *Matematicheskoe opisaniye i raschety staleplavil'nykh protsessov*. M.: Metallurgiya, 1982. (in Russian).
16. Chaymelov A.A., Strogonov K.V. *Ustroystvo dlya Sushki i Vysokotemperaturnogo Nagreva Loma*. Energoeffektivnye i Resursosberegayushchie Tekhnologii v Promyshlennosti. Pechnye Agregaty. Ekologiya: Metarialy IX

гия: Метериалы IX Междунар. науч.-практ. конф. М.: МИСиС, 2018. С. 40—42.

17. **Чаймелов А.А.** Стенд для сушки и нагрева лома // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы IXX Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов. Магнитогорск, Магнитогорский ГТУ им. Г.И. Носова, 2018. С. 43—46.

18. **Иванов Д.В., Доль А.В.** Введение в Ansys Workbench. Саратов: Амрит, 2016.

19. **Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В.** Основы работы в ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2017.

20. **Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н.** Математическое обеспечение имитационной модели процесса управления технологическим режимом агрегата печь-ковш // Автоматизированные технологии и производства. 2013. № 5. С. 54—66.

Mezhdunar. Nauch.-prakt. Konf. M.: MISiS, 2018:40—42. (in Russian).

17. **Chaymelov A.A.** Stend dlya Sushki i Nagreva Loma. Energetiki i Metallurghi Nastoyashchemu i Budushchemu Rossii: Materialy IXX Vseros. Nauch.-prakt. Konf. Studentov, Aspirantov i Spetsialistov. Magnitogorsk, Magnitogorskiy GTU im. G.I. Nosova, 2018:43—46. (in Russian).

18. **Ivanov D.V., Dol' A.V.** Vvedenie v Ansys Workbench. Saratov: Amirit, 2016. (in Russian).

19. **Fedorova N.N., Val'ger S.A., Danilov M.N., Zakharova Yu.V.** Osnovy Raboty v ANSYS. M.: DMK Press, 2017. (in Russian).

20. **Ryabchikova E.S., Ryabchikov M.Yu., Parsunkin B.N.** Matematicheskoe Obespechenie Imitatsionnoy Modeli Protsessa Upravleniya Tekhnologicheskim Rezhimom Agregata Pech'-kovsh. Avtomatizirovannye Tekhnologii i Proizvodstva. 2013;5:54—66. (in Russian).

Сведения об авторах:

Строгонов Константин Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики высокотемпературной технологии НИУ «МЭИ», e-mail: strogonovkv@yandex.ru

Чаймелов Андрей Александрович — аспирант кафедры энергетики высокотемпературной технологии НИУ «МЭИ», инженер систем вентиляции и кондиционирования ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские», e-mail: chaymelovaa@yandex.ru

Information about authors:

Strogonov Konstantin V. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Energetic of High-Temperature Technologies Dept., NRU MPEI, e-mail: strogonovkv@yandex.ru

Chaymelov Andrey A. — Ph.D.-student of Energetic of High-Temperature Technologies Dept., NRU MPEI, Engineer of Ventilation and Air Conditioning Systems of FSUE «Central research and restoration design workshops», e-mail: chaymelovaa@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 11.03.2019

The article received to the editor: 11.03.2019