

13. **Timchenko R. O.** Experimental research of retaining walls with structural surface / **R. O. Timchenko, D. A. Krishko, V. O. Savenko** // Збірник наукових праць «галузевого машинобудування, будівництва», Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – Полтава, 2017. – №2 (51). – С. 139-144.
14. Тімченко Р. О. Особливості виготовлення фізичних моделей конструкцій (підпирних стін та фундаментів-оболонок) Із ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ технологій / Р. О. Тімченко, Д. А. Кришко, В. О. Савенко, І.В. Хоруженко // Гірничий вісник. – Кривий Ріг: КНУ, 2018. – Вип. 103. – С. 65-69.
15. **Тімченко Р. О.** Using a linear regression model in the experimental planning for optimization of constructive solutions of the retaining wall of a special type / **Р. О. Тімченко, Д. А. Кришко, В. О. Савенко** // Містобудування та ТЕРИТОРІАЛЬНЕ планування – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 63 – С. 410-415.
16. **Івлєв Д. Д.** Теорія зміцнюючого пластичного тіла // **Д. Д. Івлєв, Г. І. Биковцем.** – М.: Наука, 1971. – 231 с.
17. **ДСТУ-Н Б В.2.1-31: 2014.** Настанова з проектування підпирних стін – К.: Мінрегіон України, 2015. – 86 с.
18. **ДСТУ Б В.3.1-2.** Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 72 с.
19. **ДБН В.2.1-10: 2018.** Основи и фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 36 с.
20. **Пат. UA 100212 U** Україна, МПК E02D 29/02. Монолітна підпірна стінка кутикового типу. **Тімченко Р. О., Кришко Д. А., Савенко В. О., Настич О. Б.** (Україна). – UA 100212 U; Заявл. 26.02.2015; Опубл. 10.07.2015, Бюл. № 13. - 4 с.
21. ЛІРА-САПР 2011. Навчальний посібник / **Ю.В. Гензерській, Д.В. Медведенко, О.І. Палієнко, В.П. Титок.** – К.: Електронне видання, 2011. – 396 с.

Рукопис подано до редакції 26.09.2019

УДК: 669.1.785

Ю. С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В. Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преподаватель
Криворожский национальный университет

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ КОЛОСНИКОВ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ МАЛОЦИКЛОВОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Агломерация железорудного концентрата методом просасывания является исключительно эффективным процессом с точки зрения теплотехнических показателей: при содержании углерода в шихте всего 3-5% удается нагревать спекаемый материал до 1400-1450°C.

Целью работы является исследование влияния высоких температур на работоспособность колосников конвейерных агломерационных машин.

Научная новизна. За счет теплообмена колосников со слоем раскаленного агломерата и газом-теплоносителем осуществляется их нагрев. При этом наиболее интенсивному воздействию температурных нагрузок подвергается рабочая поверхность колосника, а решающую роль в обеспечении их стойкости приобретают проблемы химической коррозии поверхностных слоев и деформации рабочего тела колосников. При выборе конструктивных параметров колосников необходимо учитывать особенности механических характеристик материалов, из которых изготовлены колосники. Недостаточная надежность и малая долговечность колосников обусловлены условиями их работы, а также их конструктивными особенностями.

Практическое значение. При эксплуатации агломерационных машин колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400 - 1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии, деформации рабочего тела колосников и потери их работоспособности. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения. Недостаточная надежность и долговечность колосников обусловлена условиями работы, а также их конструктивными особенностями.

Результаты. Предложено использовать критерием рациональности конструктивных размеров колосников агломерационных машин показатель малоциклового и термической прочности. С целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанных с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников должен быть целым числом. При изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части, долговечность колосников с толщиной рабочей части должна быть меньше долговечности колосников.

Ключевые слова: агломерационная машина, колосник, температура, долговечность, малоциклового и термическая прочность.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-106-42-48

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Агломерация концентратов железных руд осуществляется на агломерационных машинах шириной 2-4 м и длиной 25-80 м [1, 2]. Агломерационные машины состоят из тележек с бортами – паллет, перемещающихся по рельсам на роликах. Тележка представляет собой смонтированную на четырех роликовых опорах раму, ограниченную с двух сторон бортами. Днище рамы имеет поперечные балки с полками, которые служат для крепления колосников. Каждый колосник состоит из рабочей части и двух головок с зевами для установки их между поперечными балками тележки. Установленные между поперечными балками колосники за счет прямолинейных приливов на их головках создают между рабочими частями смежных колосников щели - технологические зазоры. На большинстве действующих агломерационных фабрик применяются колосники толщиной 40 мм и весом 4-5 кг при высоте прямолинейных приливов 3 мм, которые обеспечивают живое сечение решетки равное 10% от их общей площади.

Компоненты агломерационной шихты (в т.ч. измельченный кокс), дозированные в заданном соотношении, перемешивают, увлажняют, подвергают окомкованию и загружают на колосниковую решетку слоем 300-400 мм. С помощью эксгаустера под колосниковой решеткой создается разрежение, благодаря которому атмосферный воздух, поступающий в слой во время процесса, обеспечивает интенсивное горение кокса. При этом создаются температуры, при которых происходит частичное плавление рудных зерен, их слипание, а затем в ходе кристаллизации образуется пористая структура – агломерат. Агломерация железорудного концентрата методом просасывания является исключительно эффективным процессом с точки зрения теплотехнических показателей: при содержании углерода в шихте всего 3-5% удается нагревать спекаемый материал до 1400-1450°C [3, 4]. В работах [5, 6] отмечается, что в первую очередь высокие температуры оказывают негативное влияние на работоспособность колосников.

Анализ исследований и публикаций. Колосники агломерационных машин работают в окислительной, химически активной среде в широком диапазоне рабочих температур. За счет теплообмена колосников со слоем раскаленных окатышей и газом-теплоносителем осуществляется их нагрев. При этом наиболее интенсивному воздействию температурных нагрузок подвергается рабочая поверхность колосника, а решающую роль в обеспечении стойкости колосников приобретает проблема обеспечения оптимального теплоотвода, обеспечивающего равномерное распределение температуры в теле колосника. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии поверхностных слоев, деформации рабочего тела колосников, потери их работоспособности [7, 8]. Их конструктивные параметры обычно выбираются из условия обеспечения рациональных технологических требований к процессу спекания шихты. При этом особенности механических характеристик материалов, из которых изготовлены сборочные единицы тележек, а также колосников учитываются недостаточно. В то же время долговечность колосниковой решетки ограничивают общую надежность агломерационной машины. Авторы патентов [9, 10] считают, что низкая надежность и малая долговечность колосников обусловлены как условиями работы колосников, так и их конструктивными особенностями.

Колосники с одинаковыми механическими характеристиками, но разной толщиной рабочей части, выходят из строя в разное время. Колосники с меньшей толщиной рабочей части теряют работоспособность быстрее, их долговечности ниже. Различные сроки службы колосников с разной толщиной рабочей части приводят к растяжению срока ремонта по замене колосников.

При эксплуатации тележек агломерационной машины колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных циклических температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400-1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Цикличность действия высоких и низких температур является основной причиной выхода из строя колосников. С такой причинной связью согласен автор работы [11]. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико (до $10^3 \dots 10^5$), и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения [12].

Обеспечение прочности и долговечности колосников агломерационных машин – сложная научно-техническая проблема, актуальность которой возрастает в связи с непрерывным повышением требований к технико-экономическим показателям и надежности машин.

Постановка задачи. Несмотря на важность и актуальность проблемы выбора рациональных конструктивных размеров колосников агломерационных машин, она не нашла достаточно полного практического решения ни в одном из рассмотренных литературных источников. Таким образом, возникает актуальная задача разработки объективного критерия для выбора и обоснования конструктивных размеров колосников тележек агломерационных машин. Анализ литературных источников и практики эксплуатации агломерационных машин дает основание в качестве такого критерия принять показатель малоцикловой и термической прочности.

Изложение материала и результаты. При оценке совершенства колосников агломерационных машин на стадии их проектирования и эксплуатации предлагается рассматривать влияние действия температурных напряжений на их долговечность при повторном нагревании и охлаждении с позиций теории малоцикловой и термической прочности. Таким образом, критерием совершенства конструктивных размеров колосников агломерационных машин принимается показатель малоцикловой и термической прочности.

В первом приближении представим колосник в виде балки равного сечения, которая закреплена в двух опорах – смежных подколосниковых балках. На расчетную балку действует внешняя нагрузка – масса колосника, а также масса шихты, объем которой равен произведению рабочей площади колосника на высоту слоя шихты, загруженной на тележку агломерационной машины. Внешняя нагрузка приводит к возникновению изгибающих моментов M в вертикальной плоскости и нормального напряжения σ в теле колосника. Максимальное напряжение σ_{max} возникает в точках балки, наиболее удаленных от нейтральной оси балки, причем

$$\sigma_{max} = M/W, \quad (1)$$

где W – момент сопротивления поперечного сечения колосника при изгибе.

Значение момента сопротивления сечения при изгибе W находится по известной формуле

$$W = J/h_{max}, \quad (2)$$

где J – момент инерции расчетного сечения; для колосников прямоугольного сплошного сечения высотой h_{max} и толщиной B момент инерции $J = Bh_{max}^3/12$.

Зависимость напряжения σ_a , которое приводит к разрушению колосника, от числа циклов воздействия на колосник высоких температур N имеет такой вид [12]

$$\sigma_a^m N = C = \text{const}, \quad (3)$$

где m , C – постоянные константы для конструкционного материала, с которого изготовлены колосники; $m = 4-12$ (меньшие значения – жаропрочные чугуны, большие – легированные стали).

Значение максимального напряжения σ_{max} , при котором материал может выдержать без разрушения практически неограниченно число циклов N , называют пределом выносливости σ_{-1} . Разрушение деталей при относительно небольшом числе циклов ($N = 10^2 \dots 10^3$) называют малоциклового усталостью, а способность материала сопротивляться такому разрушению – малоциклового прочностью. При таком подходе для материала колосников можно принять, что

$$\sigma_a^m = \sigma_{-1}. \quad (4)$$

Количественное значение предела выносливости колосников σ_{-1K} , которые имеют определенные конструктивные особенности и размеры, находятся по следующей формуле

$$\sigma_{-1K} = K_d \beta_\sigma \sigma_{-1} / K_\sigma, \quad (5)$$

где σ_{-1} – предел выносливости лабораторных образцов материала, из которого изготовлены колосники; K_d – коэффициент влияния абсолютных размеров; β_σ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности колосников; K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Коэффициент влияния абсолютных размеров K_d рекомендуется определять по графику рисунка 13 [1]. График рисунка 13 можно описать математическим уравнением вида

$$K_d = a/d^b. \quad (6)$$

Приведем размеры прямоугольного поперечного сечения колосника к условному круговому сечению с диаметром d при условии равенства площадей $S_{np}=S_{кр}$

$$Bh_{\max} = \pi d^2/4. \quad (7)$$

Откуда

$$d = 2\sqrt{Bh_{\max}/\pi}. \quad (8)$$

Для диапазона приведенных диаметров $d = 6,5 \dots 90$ мм для углеродистых сталей и чугунов $a = 1,6$, $b = 0,18$ и математическое уравнение (6) приобретает следующий вид

$$K_d = 1,6/d^{0,18}. \quad (9)$$

С учетом математического уравнения (9) формулу (5) можно переписать в таком виде

$$\sigma_{-1K} = 1,6\beta_\sigma \sigma_{-1}/d^{0,18} K_\sigma. \quad (10)$$

Для колосников аналогичной конструкции, но разной толщины рабочей части B_1 , B_2 коэффициенты, учитывающие состояние поверхности $\beta_{\sigma(1)} = \beta_{\sigma(2)}$ и эффективный коэффициент концентрации напряжения $K_{\sigma(1)} = K_{\sigma(2)}$. Учитывая это, а также зависимость (4), перепишем уравнения (12) и предоставим ему другой вид

$$\left(\frac{\sigma_{-1K(1)}}{\sigma_{-1K(2)}} \right)^m \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m} = \frac{N_2}{N_1}. \quad (11)$$

При изготовлении колосников агломерационной машины с различной толщиной рабочей части B_1 , B_2 с одного конструкционного материала предел выносливости колосников

$$\sigma_{-1K(1)}^m = \sigma_{-1K(2)}^m, \quad (12)$$

а зависимость (13) примет такой вид

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m}. \quad (13)$$

Из формулы (15) получим следующее соотношение

$$\frac{B_{(1)}}{B_{(2)}} = \left(\frac{N_{(1)}}{N_{(2)}} \right)^{\frac{1}{0,18m}}. \quad (14)$$

Введем понятие термина «коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ ». Для колосников с толщиной рабочей части B_2 , этот коэффициент определяет количество замен колосников с толщиной рабочей части B_2 в период сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Фактически коэффициент кратности замены колосников $K_{зам}$ – это отношение долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 к долговечности колосников с толщиной рабочей части B_2 . При этом будет справедливо уравнение

$$N_1 = K_{замB2/B1} N_2, \quad (15)$$

где $K_{замB2/B1}$ – целое число.

После подстановки уравнения (17) в формулу (16) получим

$$B_{(1)}/B_{(2)} = (K_{замB2/B1})^{\frac{1}{0,18m}}. \quad (16)$$

Подставив в уравнение (18) численное значение коэффициента m , получим возможный диапазон отклонений показателя степени уравнения (16) в диапазоне 0,5 ... 1,4. В результате имеем следующую зависимость [14]

$$B_{(1)}/B_{(2)} = (K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}. \quad (17)$$

На основании анализа математического выражения (19) можно сделать следующие выводы:

с целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанным с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ должен быть целым числом;

при изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части B_1 , B_2 , долговечность колосников с толщиной рабочей части B_2 должна быть меньше долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 в $(K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}$ раз.

Практически можно реализовать от одной до трех замен колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 , т.е. коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ имеет значение 1...3. При значении коэффициента кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 1$ толщина рабочей части колосников двух различных конструкций уровне $B_1 = B_2$. Выполняется одна замена колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 , т.е. они равнонадежны. Это крайний случай, однако он наблюдается наиболее часто.

При коэффициенте кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 2$ в течение эксплуатации определенной партии колосников предполагается выполнить две замены колосников с толщиной рабочей части B_2 в течение сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Соотношение толщины рабочей части колосников двух различных конструкций B_1/B_2 должно находиться в пределах соотношений (1,4: 1,0) - (2,7: 1,0).

При коэффициенте кратности замены колосников $K_{замB2/B1} = 3$ в течение эксплуатации определенной партии колосников предполагается выполнить три замены колосников с толщиной рабочей части B_2 при сохранения работоспособности колосников с толщиной рабочей части B_1 . Соотношение толщины рабочей части колосников двух различных конструкций находится в пределах $B_1/B_2 = (1,7: 1,0) - (4,7: 1,0)$.

Отдельным случаем использования найденного решения по выбору и обоснованию конструктивных размеров колосников агломерационных машин по критерию малоцикловой и термической прочности является обеспечения *равной долговечности колосников с разной толщиной рабочей части B_1 и B_2* . Необходимость в этом возникает при смене партии колосников, которые эксплуатируются на агломерационной машине, на новые. В этом случае на агломерационной машине некоторое время будут использоваться колосники двух разных партий. Здесь возникает необходимость выбирать такие конструкционные материалы для колосников с разной толщиной рабочей части B_1 и B_2 , которые могли бы обеспечить сопротивление усталости равному числу циклов воздействия высоких температур $N_1 = N_2$. При этом зависимость (13) примет такой вид

$$\left(\frac{\sigma_{-1K(1)}}{\sigma_{-1K(2)}} \right)^m \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{0,18m} = 1. \quad (18)$$

Из формулы (20)

$$\sigma_{-1K(2)} = \sigma_{-1K(1)} (B_2/B_1)^{0,18}. \quad (19)$$

Учитывая зависимость (10), уравнение (18) можно переписать так [15]

$$\sigma_{-1(2)} = \sigma_{-1(1)} (B_1/B_2)^{0,18}, \quad (20)$$

где $\sigma_{-1(1)}$ - предел выносливости материала колосников с толщиной рабочей части B_1 .

То есть, при необходимости обеспечения равной долговечности колосников с разной толщиной рабочей части, и изготовленных из различных конструкционных материалов, числовое значение величины предела выносливости материала $\sigma_{-1(2)}$ колосников с толщиной рабочей части B_2 , должно равняться произведению предела выносливости материала колосников $\sigma_{-1(1)}$ с толщиной рабочей части B_1 на величину отношения B_1/B_2 в степени 0,18.

Предел выносливости материала $\sigma_{-1(2)}$ колосников изменяется чаще всего путем использования дорогих легирующих элементов [13]. Так в работе [14] исследовалось влияние хрома на увеличение запаса прочности колосников массой 3,4 кг. При содержании 24,5-27,0% Cr высокотемпературное сопротивление окислению колосников является достаточным для достижения срока службы, превышающего три года. Авторы статьи [15] отмечают, что жаропрочные и износостойкие сплавы, применяемые для изготовления колосников спекательных тележек агломерационных машин, содержат 25-30% хрома и 1,5-2,0% остродефицитного никеля, что экономически не оправдано. Для колосников агломерационных машин ими разработан экономлегируемый сплав 65X20Г2С2АЮТП, эксплуатационная стойкость которого соответствует стойкости колосников, изготовленных из более дорогих сталей 75X28Н2СЛ и чугунов ЧХ24ТЛ и ЧХ28Л.

Выводы и направления дальнейших исследований. При эксплуатации тележек агломерационных машин колосники подвергаются интенсивным воздействиям переменных температурных полей и механических нагрузок. На рабочей ветви агломерационной машины температура колосников достигает 1400-1450°C, а на холостой ветви - снижается до сезонных летне-зимних температур. Воздействие негативных факторов эксплуатации на колосники приводит к их химической коррозии, деформации рабочего тела колосников, потери их работоспособности. Цикличность действия высоких и низких температур является основной причиной выхода из строя колосников. Число циклов смены температур за срок службы машин относительно невелико (до $10^3 \dots 10^5$), и поэтому долговечность колосников лимитируется условиями малоциклового разрушения. Недостаточная долговечность колосников и низкая надежность решетки обусловлена условиями работы колосника, а также его конструктивными особенностями. Предложено использовать в качестве критерия рациональности конструктивных размеров колосников агломерационных машин показатель малоциклового и термической прочности. С целью снижения простоев агломерационной машины в ремонте, связанных с заменой колосников, коэффициент кратности замены колосников $K_{замB2/B1}$ должен быть целым числом. При изготовлении колосников с одного конструктивного материала, но с разной толщиной рабочей части B_1, B_2 , долговечность колосников с толщиной рабочей части B_2 должна быть меньше долговечности колосников с толщиной рабочей части B_1 в $(K_{замB2/B1})^{0,5 \dots 1,4}$ раз.

Список литературы

1. Астахов А.Г. Справочник агломератчика [Текст] / А.Г. Астахов, В.И. Мачковский, А.И. Никитин, Н.В. Федоровский. – Киев: Техніка, 1964, стр. 315-316.
2. Левицкий Д.А. Эксплуатация и ремонт механического оборудования агломерационных фабрик [Текст] / Д.А. Левицкий. – М.: Металлургиздат, 1963. – 252 с.
3. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации [Текст] / Е.Ф. Вегман. — М.: Металлургия, 1974. — 288 с.
4. Коротич В.И. Теоретические основы технологий окискования металлургического сырья. Агломерация: учебное пособие. — 2-е, исправл. и дополн. [Текст] / В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Л.И. Каплун. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. — 417 с.
5. Yun Ping W.. Fatigue Analysis of Band Sintering Machine Trolley Grate Bars [Текст] / Ping W. Yun, L.H. Chang, Jiang L. Xue // Applied Mechanics and Materials, Vols. 246-247, pp. 47-51, 2013. December 2012.
6. Yun Ping Wei . Fatigue Analysis of Band Sintering Machine Trolley Grate Bars [Текст] / Ping Wei Yun , Lan Hu Chang , Jiang Liu Xue // Applied Mechanics and Materials, Vols. 246-247, pp. 47-51, 2013/ December 2012.
7. Учитель А.Д. Аналіз конструкцій колосників і колосникових решіток для конвеєрних випалювальних машин [Текст] / А.Д. Учитель, В.Г. Григор'єва, А.С. Іванов. - www.nbu.gov.ua/old_jm/natural/newtech/2008_4/articles/3-7.pdf.
8. Захарченко В.Н. Анализ конструкций колосников агломерационных машин [Текст] / В.Н. Захарченко, Н.Р. Руденко, К.А. Мусиенко, Р.Н. Руденко. - www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?].
9. Патент №120268 Україна. МПК С22В 1/20 F27В 21/06. Візок агломераційної конвеєрної машини / Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю.; власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u 2017 04506; заяв. 10.05.2017; опублік. 25.10.2017. - Бюл. № 20. – 12 с.
10. Патент №121622 Україна. МПК F27В 21/06 F27В 21/08. Візок агломераційної конвеєрної машини / Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Білоножко В.Ю.; власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – u 2017 06269; заяв. 19.06.2017; опублік. 11.12.2017. - Бюл. № 23. – 14 с.
11. Nilsson E. A. Thermal cycling of grate-link material for iron ore pelletizing process [Текст] / E. A. A. Nilsson, R. Tegman // Journal Article published 26 Jul 2016 in Iron making & Steelmaking volume 44 issue 4 on pages 269 to 280 // Research funded by Hallmark Lundbom Research Centre.
12. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник [Текст] / Биргер И. А., Шорр Б.Ф., Исслевич Г. Б. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1993. — 640 с.
13. Гохвельд Д.А. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник [Текст] / Д.А. Гохвельд, Генцов Л.Б., Кульчихин Е.Т. и др. – Екатеринбург: УрОРАН, 1996
14. Niegbauer G. O. Life of grate bars of sintering machines made of chromium alloys [Текст] / G. O. Niegbauer, V. A. Fel'dman, V. P. Sergeev, V. F. Noskova, P. D. Krikunenko // Metallurgist / May 1971, Volume 15, Issue 5, pp 290–292.
15. Чейлах А.П. Разработка и исследование нового экономлегированного сплава для колосников агломерационных машин [Текст] / А.П.Чейлах, С.В. Прекрасный, В.В. Климанчук, П.Н. Кириленко. – Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. №18.

Рукопись поступила в редакцию 27.09.2019