

О ВЫБОРЕ КРИТЕРИЕВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛОМА В РАБОЧЕЕ ПРОСТРАНСТВО ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Ошурков В.А., Логунова О.С., Павлов В.В.

Аннотация. Целью исследования является формирование системы критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговую сталеплавильную печь. В качестве объекта исследования выбрана крупнотоннажная дуговая сталеплавильная печь (180 тонн). В качестве предмета исследования используется имитационная модель процесса загрузки шихтовых материалов в дуговую сталеплавильную печь. В данной работе представлено описание системы критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговую сталеплавильную печь. На основании построенной системы критериев подобия приводятся диапазоны соответствия для проведения сравнительного анализа полученных результатов. Анализ проведён на основе модельного эксперимента при подборе элементов подобия для совка, загрузочной бабды, крупнотоннажной дуговой сталеплавильной печи и металлического лома. Исследование проводилось на базе ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». В качестве методов научного исследования выбраны методы системного анализа, метод конкретизации, методы эмпирического исследования: наблюдение и описание. Результаты исследования предполагаются к использованию для определения прототипов модельных экспериментов для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговую сталеплавильную печь путём аппроксимации реальных объектов на наиболее простые и понятные модели.

Ключевые слова: Критерии подобия, дуговая сталеплавильная печь, модельный эксперимент, система критериев подобия, электросталеплавильный цех

Введение

Изучение действующего процесса загрузки шихтовых материалов в дуговую сталеплавильную печь с непосредственным воздействием на технологию в большинстве случаев является невыполнимой задачей по причине многогранности и сложности реальных физических объектов. Проведение натурного эксперимента имеет ограничения, выраженные в отсутствии возможности воздействия на технологию из-за высоких температур материалов и внешней среды [1], трудоемкости и дороговизне процесса. Рационально обоснованным решением данной проблемы является проведение модельного эксперимента [3], в задачи которого входит формирование и управление факторным пространством модели. Подобные исследования являются сложными, но структурированными. Последовательность модельного эксперимента условно делится на два этапа: этап подготовки и этап проведения эксперимента. На первом этапе предполагается сбор исходных данных о реальном объекте и постановка задачи для последующего этапа. Основные шаги первого этапа [2, 4]:

- выбор цели эксперимента;
- определение объекта эксперимента;
- определение предмета эксперимента;
- планирование границ и ограничений эксперимента;
- формирование критериев отбора прототипов эксперимента;
- подбор прототипов модельного эксперимента.

В результате последовательного выполнения шагов первого этапа планируется получение результатов, которые включают [1]:

- систему операций по выполнению модельного эксперимента;
- систему наблюдений и регистрации исследовательских испытаний;
- набор прототипов для исследовательских испытаний.

Наиболее важным в рамках модельного эксперимента является определение параметров реальных физических объектов и формирование критериев для оценки модели. Это позволяет выявить наиболее близкие к оригиналу формы, и от степени проработки шага зависит успешность выполнения исследовательского эксперимента.

Ранее авторами в работе [1] проведены попытки классификации потенциальных параметров и формирования критериев для определения прототипов реальных объектов для изучения процесса загрузки дуговой сталеплавильной печи. В силу схожести процесса загрузки совков металлическим ломом в кислородно-конверторном цехе ПАО «ММК» (ККЦ) с ЭСПЦ ПАО «ММК» и других факторов, ограничивающих возможность изучения ЭСПЦ ОАО

«ММК», параметры и критерии сформированы по изображениям [1], полученным при обследовании процесса загрузки совков шихтовым материалом в ККЦ ОАО «ММК», и по исследованиям [4-13]. В результате дальнейшего исследования получены эмпирические данные по процессу наполнения совков металлическим ломом с последующим кантованием совка в загрузочную бадью для перегрузки лома и заполнением крупнотоннажной дуговой сталеплавильной печи шихтой в ЭСПЦ ОАО «ММК». Это позволило сформировать ряд новых особенностей объектов и стало вызовом для дополнения параметров и критериев определения прототипов реальных физических объектов.

На этом основании сформулирована цель исследования: формирование системы критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи. В качестве объекта исследования выбрана крупнотоннажная дуговая сталеплавильная печь (180 т). Предмет исследования: имитационная модель процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи.

Система критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента

Критерии подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи – совок, загрузочная бадья, рабочее пространство ДСП и металлический лом:

- 1) критерий геометрического подобия совка;
- 2) критерий геометрического подобия загрузочной бадьи;
- 3) критерий геометрического подобия рабочего пространства дуговой сталеплавильной печи;
- 4) критерий геометрического подобия элементов металлического лома.

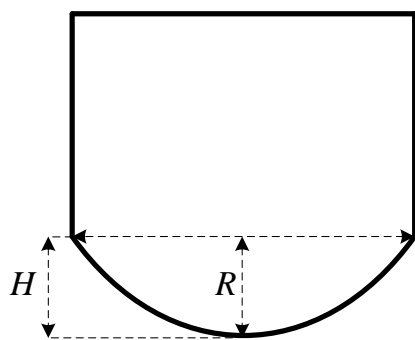


Рис. 1. Проекция загрузочной бадьи

Наблюдение за ходом процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи по цепочке «совок – загрузочная бадья – рабочее пространство ДСП» в реальных технологических условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» позволило получить данные, на основании которых сделаны выводы о корректности построенных критериев подобия для совка, рабочего пространства печи и металлического лома. Но наблюдение за заполнением загрузочной бадьи выявило дополнительные физические характеристики объекта – лопасти. По этой причине появилась необходимость в учёте пространства в области лопастей при формировании моделей (рис. 1). Таким образом, геометрический критерий подобия загрузочной бадьи (Klb), ранее включающий соотношение между высотой (Hb) и диаметром (Db), дополнен соотношением между радиусом (Rbb) и высотой (Hbb) лопастей (1):

$$Klb = \frac{Hb}{Db} + \frac{Rbb}{Hbb} \quad (1)$$

На рис. 1 введены обозначения: H – высота области лопастей, м.; R – радиус области лопастей, м.

Проведённый анализ и наличие достаточного перечня информативных критериев позволяет установить систему критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи (рис. 2)

$$\begin{cases} 0,2 \leq Ks \leq 0,3; \\ 2 \leq Klb \leq 2,05; \\ 0,6 \leq Ke \leq 0,65; \\ 10 \leq Kms \leq 45; \\ 3,5 \leq Kms \leq 9,5; \\ 1,5 \leq Kms \leq 3. \end{cases} \quad (2)$$

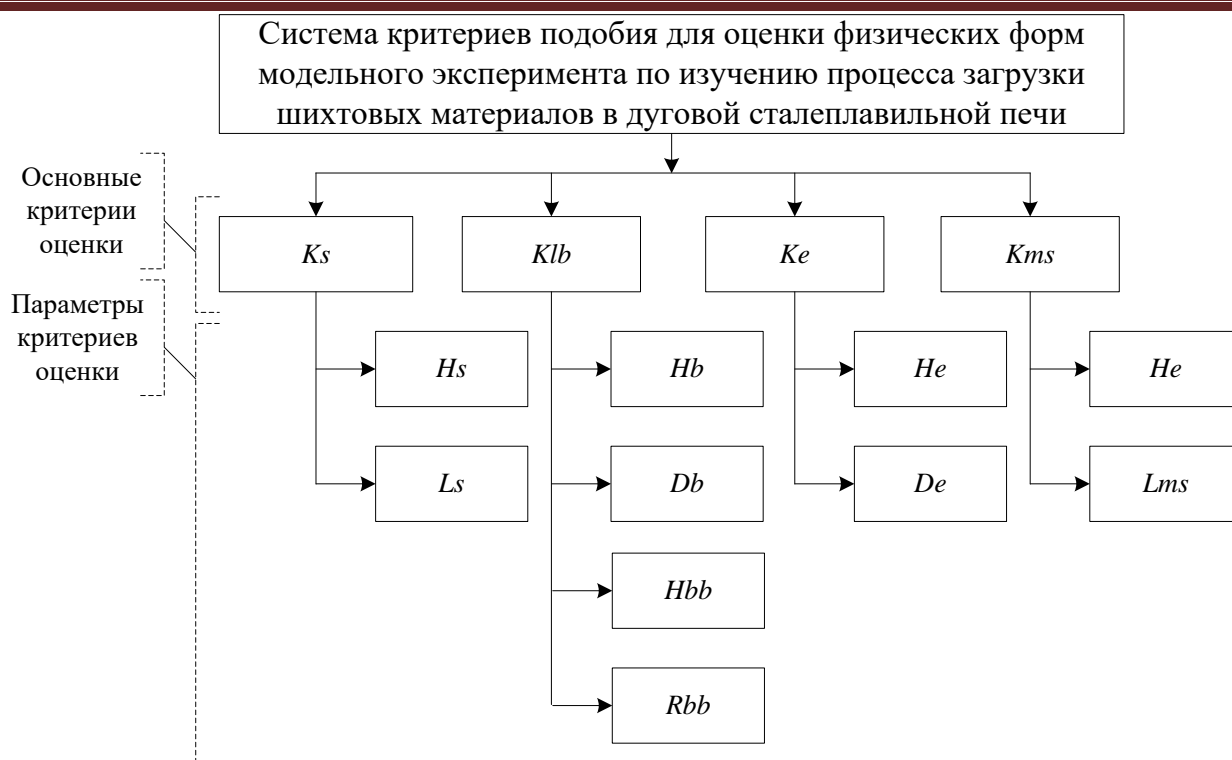


Рис. 2. Схема системы критериев подобия для оценки форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи

На рис. 2 введены обозначения: K_s – критерий подобия совка; H_s – высота совка, м; L_s – длина совка, м; K_{lb} – критерий подобия загрузочной бадьи; H_b – высота загрузочной бадьи, м; D_b – диаметр загрузочной бадьи, м; R_{bb} – радиус лопастей, м; H_{bb} – высота лопастей, м; K_e – критерий подобия рабочего пространства ДСП; H_e – высота ДСП, м.; D_e – диаметр ДСП, м; K_{sm} – критерий подобия металлического лома; L_{ms} – длина металлического лома, м.

Описание системы критериев подобия для оценки физических форм модельного эксперимента по изучению процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи представлено в табл. 1.

Отклонения значений параметров, представленных в табл. 2, оказывают влияние на результаты исследовательских испытаний, так как полученная модель не будет соответствовать свойствам реального объекта. Это повлечёт расхождения между системой операций исследовательских испытаний и реальным процессом загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи. Полученные данные нельзя перенести на реальный процесс. По этой причине разработаны оценки соответствия для проведения сравнительного анализа полученных результатов модельного эксперимента при подборе элементов подобия. Необходимость оценок обуславливает проведение исследовательских испытаний с минимальными погрешностями в результатах (рис. 3).

Оценки соответствия для проведения сравнительного анализа полученных результатов модельного эксперимента при подборе элементов подобия представлены в табл. 2.

Результаты эксперимента при условии, что значения параметра не соответствуют оценкам; фигура «стрелка» синей заливки – влияние на результаты эксперимента при условии, что значения параметра соответствуют оценкам; 1 – прототип несоответствующий оценкам; 2 – прототип соответствующий оценкам; I – прототипы модельного эксперимента; II – примерный результат загрузки моделей металлического лома в прототипы рабочего пространства дуговой сталеплавильной печи, демонстрирующий расхождение результатов; III – влияние на результаты исследовательских испытаний.

Обоснование выбора параметров и критериев подобия

Критерий	Параметр	Описание
Критерий подобия совка (K_s)	H_s, L_s	Совок является источником материала для последующей выплавки жидкой стали. Параметры по высоте (H_s) и длине (L_s) совка являются важными, так как от них зависит насыпная плотность материала внутри объекта
Критерий физического подобия загрузочной бадьи (K_{lb})	H_b, D_b, R_{bb}, H_{bb}	Загрузочная бадья является следующим объектом производственного процесса, в который размещается металлический лом после совка. В загрузочной бадье важными параметрами являются: высота (H_b), диаметр (D_b), высота лопастей (R_{bb}) и радиус (H_{bb}) лопастей. Эти параметры оказывают влияние на насыпную плотность загружаемого материала
Критерий физического подобия рабочего пространства ДСП (K_e)	H_e, D_e	Рабочее пространство ДСП является конечным местом приёма шихтовых материалов. От расположения материалов в рабочем пространстве печи будет зависеть время нахождения дуги под током и сохранность электродов. По этой причине наиболее важными параметрами являются высота (H_e) и диаметр (D_e) рабочего пространства печи
Критерий физического подобия металлического лома (K_{sm})	H_e, L_{ms}	Металлический лом – материал, являющийся основным сырьём для получения жидкой стали после выплавки в ДСП. Размер металлического лома делится на мелкий, средний и негабаритный лом. Размерность материала зависит от длины металлического лома (L_{ms}) и высоты рабочего пространства ДСП (H_e)

Таблица 2

Оценки соответствия для проведения сравнительного анализа полученных результатов модельного эксперимента при подборе элементов подобия

Критерий	Степень соответствия		
	Низкая	Приемлемая	Высокая
K_s	0,27 – 0,1	0,29	0,3
K_{lb}	1,9 – 0,4 и 2,1 – 3,25	2 – 2,04	2,05
K_e	0,6 – 0,28 и 0,66 и выше	0,63 – 0,64	0,65
K_{sm} (мелкий лом)	10 – 43 и 46 и выше	44	От 45 до 10
K_{sm} (средний лом)	4 – 9,5	3,4	От 9,5 до 3,5
K_{sm} (негабаритный лом)	0 – 1,3 и 3,3 – 3,1	3,05	От 3 до 1,5

Заключение

1. По результатам анализа предметной области – ЭСПЦ ОАО «ММК», в части изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи, появилась необходимость в дополнении критерия физического подобия загрузочной бадьи (K_{lb}) параметрами высота лопастей (H_{bb}) и радиус (R_{bb}) лопастей. Эти параметры позволят наиболее полно соответствовать реальному объекту и технологическому процессу.

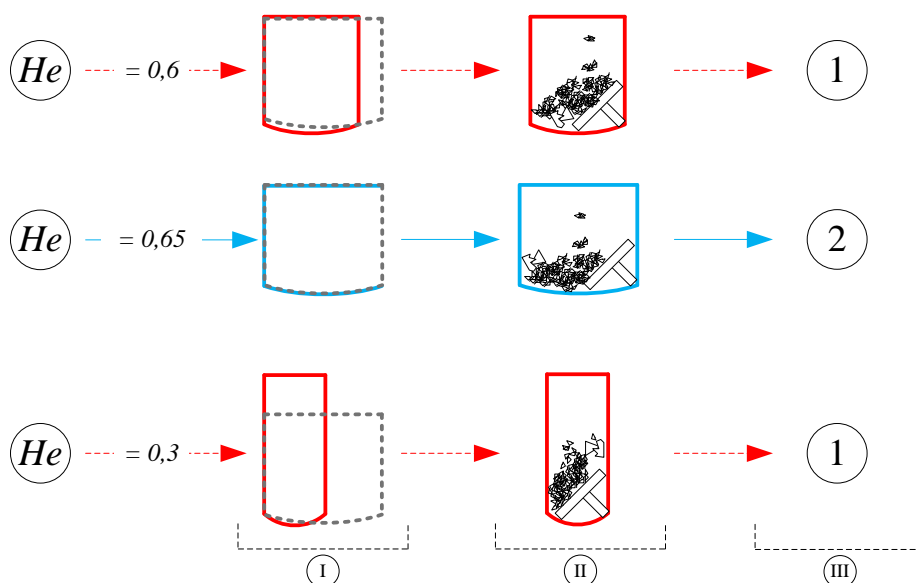


Рис. 3. Схематичное представление отклонения значений параметров от оценок на примере параметра He критерия Ke

2. Построена система критериев подобия для оценки форм модельного эксперимента. Предложены оценки соответствия для проведения сравнительного анализа полученных результатов модельного эксперимента при подборе элементов подобия для совка, загрузочной бадьи, крупнотоннажной дуговой сталеплавильной печи и металлического лома.

3. Результаты исследования предполагаются к использованию для определения прототипов модельных экспериментов для изучения процесса загрузки шихтовых материалов в дуговой сталеплавильной печи путём аппроксимации реальных объектов на наиболее простые и понятные модели.

Список использованных источников

1. Планирование модельных экспериментов для изучения процессов загрузки дуговой сталеплавильной печи / О.С. Логунова [и др.] // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 12-4. – С. 60-68.
2. Любченко, Е.А. Планирование и организация эксперимента: учебное пособие / Е.А. Любченко, О.А. Чуднова. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 156 с.
3. Наместников, А.М. Разработка имитационных моделей в среде MATLAB: методические указания для студентов специальностей / А.М. Наместников. – Ульяновск, УлГТУ, 2004. – 72 с.
4. Налимов, В.В. Теория эксперимента [Текст] / В.В. Налимов. – М.: Изд-во Наука, 1971. – 201 с.
5. Тихонов, А.И. Основы теории подобия и моделирования: (электрические машины): учебное пособие / А.И. Тихонов. – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2011. – 132 с.
6. Лекции по методам оценивания и выбора моделей [Электронный ресурс] // Forecsys: [сайт]. [2007]. –URL: <http://www.ccas.ru/frc/papers/vo-ron04twim.pdf> (дата обращения: 27.03.2017).
7. Смайлов, С.А. Механика жидкости и газа [Текст]: учебное пособие / С.А. Смайлов, К.А. Кувшинов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2012. – 121 с.
8. Logunova O.S., Matsko I.I., Posochov I.A. Integrated system structure of intelligent management support of multi-stage metallurgical processes // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. – 2013. – № 5. – P. 50 – 55.
9. Pavlov V.V., Logunova O.S. Charge melting materials selection procedure for EAF to work in power saving mode // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Т. 31. – № 8. – P. 1502-1507.
10. Моделирование риска обвалов шихты при загрузке крупногабаритного лома в электродуговую сталеплавильную печь / О.С. Логунова [и др.] // Сталь. – 2012. – № 9. – С. 76-79.
11. Влияние фракционного состава металлолома на показатели работы дуговой сталеплавильной печи / В.В. Павлов [и др.] // Электрометаллургия. – 2011. – № 11. – С. 2-6.
12. Logunova O.S., Pavlov V.V., Matsko I.I., Pavlov I.V. Empirical model of residual element content in steel when three component burden is used in the process of steel production in electric arc furnace // Journal of Mining World Express. – 2012. – Т. 1. – № 1. – P. 21-26.
13. Logunova O.S., Pavlov V.V. Stabilizing the residual contents of elements in steel by using alternative materials in the metallic charge of an arc steelmaking furnace // Metallurgist. – 2014. – Т. 58. – № 3-4. – P. 299-305.

Материал поступил в редакцию: 12.03.2017

Материал принят к публикации: 25.04.2017

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ON THE ELECTION OF THE SIMILARITY GEOMETRIC CRITERIA FOR MODELING THE PROCESS OF CHARGE MATERIALS IN AN ELECTRIC ARC FURNACE

Oshurkov V.A., Logunova O.S., Pavlov V.V.

Abstract. The aim of this work is to form the system of similarity criteria for evaluating physical forms of model experiments to study the electric arc furnace charging process. The object of research is large-capacity electric arc furnace (180 ton). The subject of research is the simulation model of the charging process in the electric arc furnace. This paper presents the description of similarity criteria system for evaluating the physical forms of model experiments to study the charging process of electric arc furnace. According to the proposed the system the description of conformance evaluation benchmarking analysis of model experiments in the charging was carried out to get the results for scoop, loading bucket, large-capacity electric arc furnace and scrap. Location of research: Nosov Magnitogorsk State Technical University. Methods of research: methods of system analysis, method concretism, methods of empirical research i.e. observation and description. Results of the research are assumed to be used in process of determination model experiments prototypes. It is performed to study the charging process of electric arc furnace by method of approximation of the physical objects.

Keywords: Similarity criteria, electric arc furnace, model experiment, system of similarity criteria, meltshop

References

1. Logunova O.S. [i dr.] *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*, 2016, no 12-4, pp. 60-68. (In Russ.)
2. Lyubchenko E.A., Chudnova O.A. *Planirovanie i organizatsiya eksperimenta*. Vladivostok: TGEU, 2010, 156 p. (In Russ.)
3. Namestnikov A.M. *Razrabotka imitatsionnykh modeley v srede MATLAB*. Ulyanovsk: UIGTU, 2004, 72 p. (In Russ.)
4. Nalimov V.V. *Teoriya eksperimenta*. Moscow: Nauka, 1971, 201 p. (In Russ.)
5. Tihonov, A.I. *Osnovnyy teorii podobiya i modelirovaniya*. Ivanovo: IGEU, 2011, 132 p. (In Russ.)
6. *Leksii po metodam otsenivaniya i vyibora modeley*. Available at: <http://www.ccas.ru/frc/papers/vo-ron04twim.pdf> (Accessed Mart 27, 2017).
7. Smaylov S.A., Kuvshinov K.A. *Mehanika zhidkosti i gaza*. Tomskiy politehnicheskii universitet.
8. Logunova O.S., Matsko I.I., Posochov I.A. Integrated system structure of intelligent management support of multi-stage metallurgical processes. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university*, 2013, no 5, p. 50 – 55. (In Russ.)
9. Pavlov V.V., Logunova O.S. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 31, no 8, pp. 1502-1507.
10. Logunova O.S. [and ets.]. *Stal*, 2012, no 9, p. 76-79.
11. Pavlov V.V. [and ets.]. *Elektrometallurgiya*, 2011, no 11, p. 2-6. (In Russ.)
12. Logunova O.S., Pavlov V.V., Matsko I.I., Pavlov I.V. Empirical model of residual element content in steel when three component burden is used in the process of steel production in electric arc furnace. *Journal of Mining World Express*, 2012, vol. 1, no 1, p. 21-26.
13. Logunova O.S., Pavlov V.V. Stabilizing the residual contents of elements in steel by using alternative materials in the metallic charge of an arc steelmaking furnace. *Metallurgist*, 2014, vol. 58, no 3-4, p. 299-305. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ:

Ошурков Вячеслав Александрович – аспирант кафедры вычислительной техники и программирования, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова». E-mail: oshurkov92@mail.ru.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. И. Г. Носова». E-mail: logunova66@mail.ru.

Павлов Владимир Викторович – ведущий инженер-технолог электросталеплавильной лаборатории научно-технического центра ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: pavlov.vv@mmk.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ошурков В.А., Логунова О.С., Павлов В.В. О выборе критериев геометрического подобия для моделирования процесса загрузки металлического лома в рабочее пространство дуговой сталеплавильной печи // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2017. – Т.5. – №1. – С. 24-30.

Oshurkov, V.A., Logunova, O.S. and Pavlov V.V. (2017) On the election of the similarity geometric criteria for modeling the process of charge materials in an electric arc furnace. *Software of systems in the industrial and social fields*, 5 (1): 24-30.