

## КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СИММЕТРИЧНОЙ МНОГОРУЧЬЕВОЙ МНЛЗ

Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Добрынин С.М., Мельничук Е.А., Точилкин В.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация.** **Постановка задачи (актуальность работы):** в статье рассматриваются конструкции огнеупорного оборудования, устанавливаемого в приемных камерах промежуточного ковша (ПК) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Совершенствование оборудования ПК обеспечивает эффективное формирование потоков металла и создает условия для повышения его качества. **Цель работы:** совершенствование конструкций и методики расчета металлоприемника (М) приемной камеры ПК, используя представленные новые конструкции, методику расчета и результаты моделирования процесса разлива стали для повышения качества непрерывно-литой заготовки. **Используемые методы:** зависимости в области механики жидкости для условий металла, находящегося в жидком состоянии, при температуре, определяемой условиями разлива стали. **Новизна:** впервые приведена схема для определения параметров потоков жидкой стали при применении М с боковыми пространственно ориентированными отверстиями (ПОО). **Результат:** в статье даны расчетные зависимости для определения основных параметров конструкций М с боковыми отверстиями симметричных многоручьевых МНЛЗ. Проведено математическое моделирование конструкции М. **Практическая значимость:** представлена методика конструирования М симметричного ПК с учетом особенностей потоков стали, получена расчетная схема исходных данных для проектирования М.

**Ключевые слова:** машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), промежуточный ковш (ПК), потоки металла, моделирование.

### Введение

В статье рассмотрены вопросы организации движения потоков стали в приемных камерах промежуточного ковша. Отмечены особенности компоновки приемных камер симметричных ПК при использовании специальных устройств, обеспечивающих прием струи стали, поступающей из сталеразливочного ковша, и последующее распределение потоков металла в объеме ПК. Данные устройства обеспечивают изменение параметров потоков стали, снижают их турбулентность, уменьшают скорости боковых и придонных течений, а также уменьшают число замкнутых контуров [4]. В работе рассматривается конструкция ПК МНЛЗ на базе М и порогов приемной и разливочной камер (**рис. 1**) [5].

Определение работоспособности металлоприемника включает расчеты: элементов конструкции М на стойкость; скоростей потоков жидкого металла в объеме промежуточного ковша; распределения потоков в структуре ковша [6].

Стойкость устройства к воздействию среды: жидкий металл, шлак, неметаллические включения и другие определяют эрозионную стой-

стью и прочностью, т.е. способностью выдерживать приложенные нагрузки со стороны потоков жидкого металла без разрушения. Эрозионную стойкость определяют расчетом устройств на кавитацию [6]. Расчет элементов ПК на кавитацию в статье не рассматривается, поскольку он подробно изложен в работе [6].

### Основная часть. Конструкции, расчет ковша и отдельных элементов

Представлена новая компоновка оборудования симметричного ПК четырех ручьевых МНЛЗ (**см. рис. 1**). Она выполнена на базе М с боковыми ПОО и четырех порогов, устанавливаемых около каждого из разливочных отверстий ковша. На **рис. 2** представлены основные параметры конструкции М с ПОО. Компоновка конструкции М с ПОО дана на **рис. 3**.

Расчет работоспособности М включает определение скоростей потоков металла в объеме металлоприемника: входного (из сталеразливочного ковша); затопленных струй из отверстий на боковых гранях; обратного со дна М. На **рис. 4** представлена расчетная схема металлоприемника с боковыми пространственно ориентированными отверстиями, установленного в приемной камере симметричного промежуточного ковша.

Определение скоростей в объеме промежуточного ковша необходима, поскольку кон-

структивные особенности применяемых металлоприемников и других устройств приемной камеры ковша, имеющих ПОО, могут при неправильной конструкции корпуса, боковых граней и расположении боковых отверстий: углов боковых ПОО, числу и расположению отверстий относительно дна ковша, способствовать образованию скоростных потоков на границе раздела жидкая сталь – покровный шлак, на дне ковша и в районе миделя стопора [4].

Основной параметр работоспособности принятой конструкции металлоприемника и связанной с ним компоновкой оборудования внутреннего объема промежуточного ковша – скорость стали на границе раздела металл-шлак не должна превышать допустимой скорости, т.е.

$$u_n \leq [u_n],$$

где  $u_n$  – скорость стали на границе раздела металл-шлак, м/с;  $[u_n]$  – допустимая скорость на границе раздела металл-шлак, м/с.

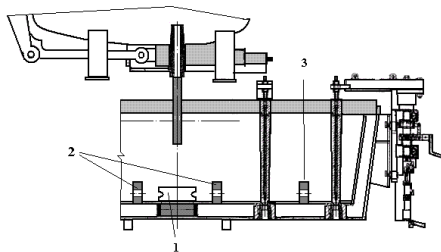


Рис. 1. Компоновка ПК четырехручьевого МНЛЗ:  
1 – донный М с ПОО;  
2 – пороги приемной камеры с ПОО;  
3 – пороги разливочных камер с ПОО

Специфика движения потоков стали в промежуточном ковше [6], определяемая взаимодействием потоков жидкой стали у поверхности раздела сталь – покровный шлак, позволила определить допустимые скорости потоков. Они приняты в диапазоне  $[u_n] - 0,13...0,2$  м/с. Значение  $[u_n] = 0,2$  м/с выбирается в случае использования симметричных машин, имеющих два ручья и небольшие по длине промежуточные ковши. Величины, равные  $[u_n] = 0,13$  м/с, принимаются для ковшей симметричных машин, имеющих шесть и более ручьев. Промежуточные значения допустимых скоростей равные

$[u_n] = 0,15$  м/с необходимо использовать при расчете параметров ПК четырехручьевого машины.

Определение скоростей потоков стали из металлоприемника с боковыми пространственно ориентированными отверстиями, установленного в приемной камере симметричного промежуточного ковша, необходимо для оценки скоростей на границе раздела жидкий металл – покровный шлак при установке металлоприемника с ПОО [6].

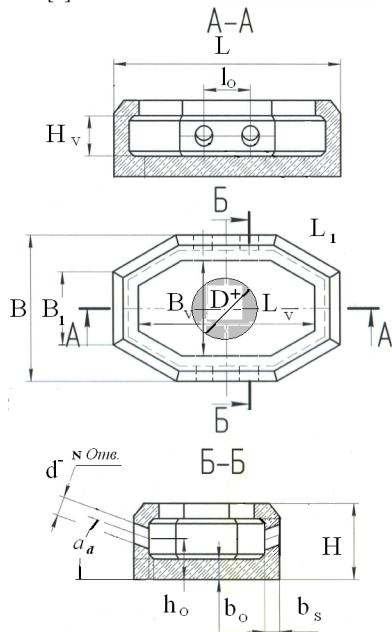


Рис. 2. Основные параметры конструкции М с пространственно ориентированными отверстиями: L – длина; B – ширина; H – высота; B<sub>1</sub> – ширина грани; l<sub>0</sub> – расстояние между боковыми отверстиями; h<sub>0</sub> – высота расположения оси отверстий; b<sub>0</sub> – толщина дна; b<sub>s</sub> – толщина боковой поверхности; d – диаметры боковых ПОО; L<sub>v</sub>, B<sub>v</sub>, H<sub>v</sub> – габариты приемного отверстия; D<sup>\*</sup> – диаметр поперечного сечения струи металла, поступающего в М

Затопленные струи жидкого металла из отверстий на боковых гранях формируют структуру с повышенными скоростями в средней части реакционных камер промежуточного ковша

(см. рис. 4). Формирование данных структур способствует перемещению крупных частиц размером >20 мкм в поверхностные слои объема ПК. Параметры скорости жидкой стали в этой структуре потоков можно определить по зависимости [6]

$$\vec{u} = \sum_{i=1}^m \vec{u}_i, \quad (1)$$

где  $\vec{u}$  – суммарный вектор скорости стали, м/с;  $\vec{u}_i$  – вектор скорости металла в затопленной струе, создаваемой  $i$ -м отверстием, м/с.

Боковые движения затопленных струй жидкой стали в результате применения комплекса устройств в приемной камере промежуточного ковша минимальные [6].

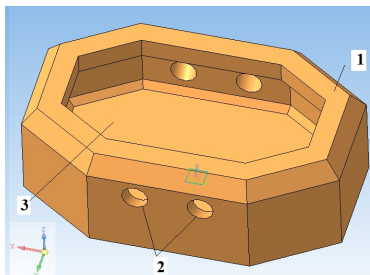


Рис. 3. Компонка М с ПОО ПК МЛЗ:  
1 – донный М; 2 – отверстия; 3 – дно М

Для формирования скоростных структур с затопленными струями в средней части ПК необходимо поток из отверстий в М ориентировать под некоторым углом  $\alpha$  к зеркалу металла. Величина данного угла определяется с учетом уровня стали в промежуточном ковше при номинальных условиях разливки и скоростей разливки стали из разливочных отверстий ковша.

Зависимость (1) определяет осевую скорость струи  $u_{1S}$  в системе координат  $x_{1S}, x_{2S}, x_{3S}$ , повернутой также под углом  $\alpha$  к принятой за основную системе координат  $x_1, x_2, x_3$ . Необходимо осуществить преобразование

$$\begin{bmatrix} x_{1S} \\ x_{2S} \\ x_{3S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} x_{1S} \\ x_{2S} \\ x_{3S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \cos \alpha + x_3 \sin \alpha \\ x_2 \\ -x_1 \sin \alpha + x_3 \cos \alpha \end{bmatrix}.$$

Скорость потока в осевом направлении развития структуры определяется по зависимости [6]

$$u_{1S} = \sum_{i=1}^m \frac{u_{\max i}}{\left(1 + u_{\max i} \frac{x_{3Si}^2}{8v_{\varepsilon i} \cdot x_{1Si}}\right)^2},$$

где  $u_{\max i}$  – осевая скорость стали затопленной струи, истекающей из  $i$ -го отверстия металлоприемника, м/с;  $v_{\varepsilon i}$  – вихревая вязкость затопленной струи, истекающей из  $i$ -го отверстия металлоприемника, м<sup>2</sup>/с.

С учетом преобразования координат скорость  $u_{1S}$  равна

$$u_{1S} = \sum_{i=1}^m \frac{u_{\max i}}{\left(1 + u_{\max i} \frac{x_{3Si}^2}{8v_{\varepsilon i} \cdot x_{1Si}}\right)^2}.$$

Скорость на границе раздела находим при условии  $x_{3i} = h_{\delta i}$  и равна

$$u = \max \left\{ \sum_{i=1}^m \frac{u_{\max i}}{\left(1 + u_{\max i} \frac{(h_{\delta i} \cdot \cos \alpha - l \sin \alpha)^2}{8v_{\varepsilon i} \cdot (l \cos \alpha + h_{\delta i} \sin \alpha)}\right)^2} \right\} \leq [u].$$

Максимальное значение скорости определяем в интервале

$$x_1 \in \left( \min \left( \frac{h_{\delta i}}{\operatorname{tg}(\alpha + 0,5 \cdot \alpha_p)} \right); l \right),$$

где  $\alpha_p$  – угол раскрытия турбулентной струи, град. Он равен 22<sup>0</sup>–26<sup>0</sup> [6];  $l$  – длина пути затопленной струи, м (см. рис. 4).

Вихревую вязкость  $v_{\varepsilon i}$  и скорость на оси затопленной струи рассчитываем по формулам

$$v_{\varepsilon i} = 0,013 u_{0i} d_{0i},$$

$$\frac{u_{\max i}}{u_{0i}} = \frac{6,4d_{0i}}{x_1 \cos \alpha + h_{0i} \sin \alpha},$$

где  $u_{0i}$  – начальная скорость струи истекающей из  $i$ -го отверстия М, м/с;  $d_{0i}$  – диаметр  $i$ -го отверстия М, м.

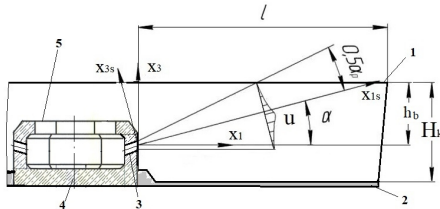


Рис. 4. Расчетная схема металлоприемника с боковыми пространственно-ориентированными отверстиями, установленного в приемной камере симметричного промежуточного ковша:

- 1 – уровень стали в ПК; 2 – торкрет-масса;
- 3 – пространственно ориентированные отверстия М; 4 – дно М; 5 – входное отверстие М;
- $H_k$  – высота уровня металла в КП;  $h_b$  – высота расположения оси отверстий относительно уровня металла ПК

#### Моделирование работы конструкций М приемной камеры

Задачи решали численным методом путем математического моделирования [7], при этом был описан и смоделирован процесс движения потоков стали в объеме системы: струя металла из СЛК – М с ПОО – затопленные струи жидкой стали в пространстве ПК.

Составляется система дифференциальных уравнений: неразрывности, движения. При этом учитывается турбулентность потока и составляются уравнения турбулентности. Для постановки задачи нужны: параметры скорости у входного отверстия (скорость потока из сталеразливочного ковша); давление у выходного отверстия [6, 7].

Система уравнений может быть представлена в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{u}, \\ \rho \nabla \vec{u} = 0. \end{cases}$$

где  $\vec{u}$  – вектор скорости жидкости;  $\vec{F}$  – вектор объёмных сил;  $p$  – давление жидкости;  $\nabla p$  – градиент давления;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости;  $\nabla^2 \vec{u}$  – лапласиан  $\vec{u}$ ;  $\rho$  –

плотность жидкого металла.

В математической модели были сделаны допущения [6]:

- 1. Плотность каждой фазы (металла и НВ) в модели постоянна.
- 2. Жидкий металл и НВ имеют одни и те же поля давлений.
- 3. Объем сталеразливочного ковша изначально заполнен сталью полностью.
- 4. Объем ПК изначально заполнен сталью.
- 5. Жидкость – сталь, является вязкой и несжимаемой.

Провели математическое моделирование потоков жидкого металла с целью оценки влияния потоков металла на конструкции М приемной камеры ПК [5]. Результаты математического моделирования работы М в приемной камере ПК представлены на рис. 5.

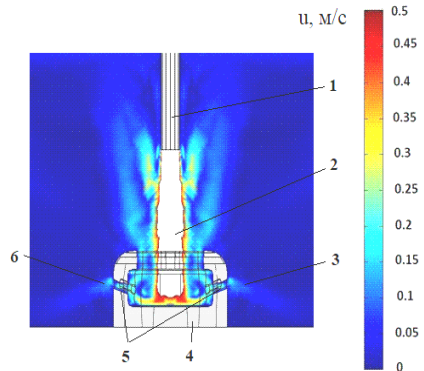


Рис. 5. Результаты математического моделирования работы М в приемной камере ПК: 1 – защитная труба; 2 – струя стали из сталеразливочного ковша; 3 – М; 4 – дно М; 5 – боковые отверстия; 6 – струя стали из бокового отверстия

По результатам анализа результатов моделирования оценивали параметры скоростей в объеме приемной камеры ПК, оснащенного М [6, 8].

Выбранная организация затопленных струй жидкой стали, движущихся из ПОО М, расположенных на боковых гранях, способствует смещению основных потоков жидкого металла в среднюю часть пространства реакционных и разливочных камер ПК [8], что позволит уменьшить скорости стали вдоль поверхности дна ПК, и правильной организации движения стали относительно миделя стопора ПК. Это упорядочивает движение потоков металла в структуре их перемещения в разливочное

отверстие ПК, а также и уменьшает число НВ в металле, движущемся затем в разливочное отверстие ПК и далее в кристаллизатор машины [9].

Таким образом, правильно выбранная конструкция М приемной камеры и расположение ПОО М способствуют рациональной организации потоков металла в объеме ПК и соответственно способствуют качеству металла при разливке, а также в изделиях последующих переделов [10].

### Заключение

Рассмотрено новое оборудование промежуточного ковша – металлоприемник с боковыми ПОО. Применение нового М обеспечит уменьшение скоростей потоков стали в приемной камере ковша и далее в объеме реакционных и разливочных камер.

Разработаны положения по определению конструктивных параметров металлоприемников для симметричных ПК, оснащенных отверстиями, выполненными на боковых поверхностях М. Представлена обобщенная компоновка М для симметричных ПК и основные параметры конструкции М с пространственно ориентированными отверстиями. Созданная компоновка М может быть использована в пространстве приемных камер всех типов симметричных машин с четным числом ручьев – сортовых и слабых.

Проведено моделирование поведения потоков стали в приемной камере ПК. Моделирование показало, что рациональное перемещение потоков металла из боковых ПОО М в среднюю часть реакционных и разливочных камер ПК позволяет уменьшить образование вихрей в разливочных камерах ковша и соответственно возможность затягивания НВ в кристаллизатор МНЛЗ.

### Список литературы

1. Гуцин В. Н., Ульянов В. А. Совершенствование технологии рафинирования стали в промежуточных ковшах МНЛЗ // *Сталь*. 2017. № 5. С. 16–20.

2. Numerical Modelling of Dissipation Phenomena inside a New Ladle Shroud for Fluidynamic Control and its Effect on Inclusion Removal in a Slab Tundish /G. Solorio-Diaz, R.D. Morales, J. de J. Barreto-Sandoval [et al.] // *Steel Research International*. 2014. Vol. 85. № 5. P. 863–874.

3. Design engineering of refractory components for use in refining continuous-cast steel / V.V. Chislavlev, S.V. Feiler, D.V. Boikov [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2018. Vol. 58. № 6. P. 603–607.

4. Mathematical Modeling of Inclusions Deposition at the Upper Tundish Nozzle and the Submerged Entry Nozzle / Enif Gutiérrez, Saul García-Hernandez, José de Jesús Barreto [et al.] // *Steel research international*. 2016. Vol. 87. № 11. P. 1406–1416.

5. Рафинирование металла в промежуточном ковше / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, М.В. Семенов [и др.] // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2007. № 1 (17). С. 43–46.

6. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 348 с.

7. Multiphase flow modeling of slag entrainment during ladle change-over operation / Rodolfo D. Morales, Saul Garcia-Hernandez, Jose de Jesus Barreto [et al.] // *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2016. Vol. 47. № 4. P. 2595–2606.

8. Modeling Study of Turbulent Flow in a Continuous Casting Slab Mold Comparing Three Ports SEN Designs / Ismael Calderón-Ramos, Rumualdo Servín-Castañeda, Alejandro Pérez-Alvarado [et al.] // *ISIJ International*. 2019. Vol. 59. № 1. P. 76–85.

9. Оптимизация гидродинамических характеристик промежуточного ковша УНПС с целью удаления экзогенных неметаллических включений / А.В. Куклев, В.В. Тяняков, Ю.М. Айзин [и др.] // *Металлург*. 2004. № 4. С. 47–49.

10. Особенности структурообразования в тонкой проволоке / А.Б. Сычков, А.Ю. Столяров, Г.Я. Камалова и др. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2017. Т. 15. № 2. С. 75–83.

Поступила 30.05.19

Принята в печать 28.06.19

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-25-30>

## DESIGN AND CALCULATION OF THE IMPACT BOX FOR A SYMMETRICAL MULTI-STRAND TUNDISH

**Konstantin N. Vdovin** – Dr.Sci. (Eng.), Professor  
Department of Casting and Materials Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University,  
Magnitogorsk, Russia. E-mail: vdovin@magtu.ru

**Vasily V. Tochilkin** – Postgraduate Student  
Department of Casting and Materials Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University,  
Magnitogorsk, Russia. E-mail: tochilkin.vas@mail.ru

**Sergey M. Dobrynin** – Postgraduate Student

Department of Casting and Materials Science, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vdovin@magtu.ru

**Evgeny A. Melnichuk** – Postgraduate Student

Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: melnichuk.EA@mmk.ru

**Viktor V. Tochilkin** – Dr.Sci. (Eng.), Professor

Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: toch56@mail.ru

**Abstract. Problem Statement (Relevance):** This paper examines the design of refractory equipment used in impact boxes of a tundish in a continuous casting machine (CCM). Optimised components of the tundish ensure effective formation of metal flows and help achieve better metal quality. **Objectives:** The objective is to use the design procedure described, as well as the casting simulation data to optimize the design of the impact pad and the corresponding calculation procedure aimed at improved quality of continuously cast billets. **Methods Applied:** Calculated dependencies in the area of machine design which are based on the fundamental mass and energy conservation laws, equations of mathematical physics, as well as known and proven mathematical techniques. **Originality:** This is the first paper that describes how to calculate metal velocity at the metal-slag boundary when using the impact box with space-oriented side holes. **Findings:** This paper describes calculated dependencies that can be used to determine the key design parameters of impact boxes with side holes designed for symmetrical multi-strand CCMs. The authors also simulated the design of such impact box. **Practical Relevance:** The authors describe a design technique for designing symmetrical tundish impact boxes allowing for the metal flows. They also came up with an initial data calculation scheme for impact box design.

**Keywords:** Continuous casting machine (CCM), tundish, metal flows, modelling.

### References

- Gushchin V.N., Ulianov V.A. Optimised tundish steel refining process. *Stal* [Steel], 2017, vol. 47, no. 5, pp. 320–324. (In Russ.)
- G. Solorio-Diaz, R.D. Morales, J. de J. Barreto-Sandoval [et al.] Numerical Modelling of Dissipation Phenomena inside a New Ladle Shroud for Fluidynamic Control and its Effect on Inclusion Removal in a Slab Tundish. *Steel Research International*, 2014, vol. 85, no. 5, pp. 863–874.
- V. V. Chislavlev, S. V. Feiler, D. V. Boikov [et al.] Design engineering of refractory components for use in refining continuous-cast steel. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2018, vol. 58, no. 6, pp. 603–607.
- Enif Gutiérrez, Saul Garcia-Hernandez, José de Jesús Barreto [et al.] Mathematical Modeling of Inclusions Deposition at the Upper Tundish Nozzle and the Submerged Entry Nozzle. *Steel research international*, 2016, vol. 87, no. 11, pp. 1406–1416.
- K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, M. V. Semenov [et al.] Tundish refining of metal. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2007, no. 1, pp. 43–46. (In Russ.)
- Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Yachikov I. M. *Nepreryvnaya razlivka stali. Gidromekhanika mashin nepreryvnogo litiya zagotovok: monografiya* [Continuous casting of steel. Hydromechanics of continuous casting machines: monograph]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014, 348 p. (In Russ.)
- Rodolfo D. Morales, Saul Garcia-Hernandez, Jose de Jesus Barreto [et al.] Multiphase flow modeling of slag entrainment during ladle change-over operation. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2016, vol. 47, no. 4, pp. 2595–2606.
- Ismael Calderón-Ramos, Rumualdo Servín-Castañeda, Alejandro Pérez-Alvarado [et al.] Modeling Study of Turbulent Flow in a Continuous Casting Slab Mold Comparing Three Ports SEN Designs. 2019, vol. 59, no. 1, pp. 76–85.
- A. V. Kuklev, V. V. Tinyakov, Yu. M. Ayzin [et al.] Optimization of the hydrodynamic characteristics of continuous casting tundishes aimed at removing exogenous nonmetallic inclusions. *Metallurg* [Metallurgist], 2004, no. 4, pp. 47–49. (In Russ.)
- A.B. Sychkov, A.Yu. Stolyarov, G.Ya. Kamalova [et al.] Structure formation in thin wires. – *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2017, vol. 15, no. 2, pp. 75–83. (In Russ.)

Received 30/05/19

Accepted 28/06/19

### Образец для цитирования

Конструкции и расчет металлоприемника промежуточного ковша симметричной многорулевой МНЛЗ / Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Добрынин С.М., Мельничук Е.А., Точилкин В.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т.17. №3. С. 25–30. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-25-30>

### For citation

Vdovin K.N., Tochilkin V.V., Dobrynin S.M., Melnichuk E.A., Tochilkin V.V. Design and Calculation of the Impact Box for a Symmetrical Multi-Strand Tundish. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2019, vol. 17, no. 3, pp. 25–30. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-3-25-30>