МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 669.18 EDN: TWEPNM

[1,*]Еронько С. П., [2]Петров П. А., [2]Проценко М. Ю., [2]Петров М. П.
[1]Донецкий национальный технический университет,
[2]Донбасский государственный технический университет
**E-mail: ersp52@mail.ru*

КОНСТРУКТИВНОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЗАМЕНЫ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ НА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

Описаны конструктивные особенности усовершенствованной системы механизированной замены погружных стаканов, защищающих сталь от вторичного окисления на участке «промежуточный ковш — кристаллизатор» машины непрерывного литья слябовой заготовки. Приведены методики расчетов энергосиловых параметров ее структурных механизмов, а также рекомендации по практическому применению полученных данных при разработке новых отечественных систем быстрой смены защитных огнеупорных элементов, способных конкурировать с зарубежными аналогами, что будет способствовать решению задач принятой в стране программы импортозамещения.

Ключевые слова: *кристаллизатор, слябовая заготовка, погружной стакан, силовой механизм, гидроцилиндр, блок управления.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При выполнении серийной разливки периодически требуется производить замену огнеупорного погружного стакана, который обеспечивает экранирование струи стали, истекающей из промежуточного ковша в кристаллизатор слябовой машины непрерывного литья заготовок, от кислорода окружающей воздушной среды [1, 2]. При этом важно выполнить эту замену за минимально возможный промежуток времени, что обусловлено стремлением предотвратить образование на поверхности отливаемой заготовки так называемых пережимов, вызванных даже кратковременным прекращением поступления жидкой стали в кристаллизатор [3, 4]. Для выполнения указанных условий за последнее десятилетие в практике непрерывной разливки стали нашли применение специальные гидравлические устройства, позволяющие осуществить замену отработанного погружного стакана за доли секунды. Однако две вспомогательные операции, связанные с подачей на приемные салазки закрепленного на днище промежуточного ковша разливочного устройства нового защитного огнеупорного элемента и уборки отработанного изделия, выполняют вручную. Это не только приводит к увеличению длительности операций, но и нарушает оптимальные траектории потоков жидкой стали в верхней части кристаллизатора одновременно находящимися в нем двумя погружными стаканами, что ухудшает условия формирования корочки слитка, и, кроме того, требует от обслуживающего персонала выполнять тяжелую работу [5, 6].

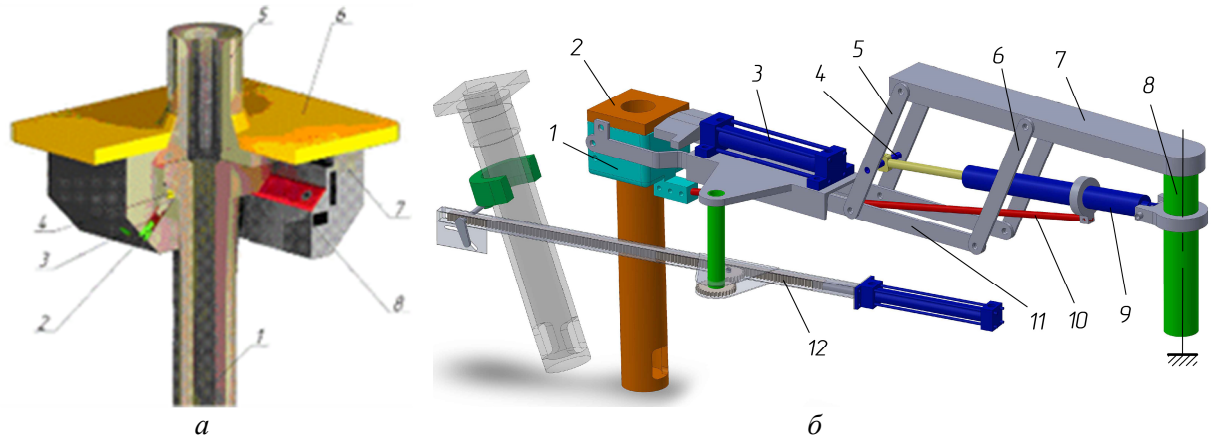
В связи с этим начаты изыскания путей устранения отмеченных недостатков, одним из которых следует признать создание комплексной разливочной системы, включающей устройство, выполняющее быстрое проталкивание сменного комплекта погружных стаканов, а также двух механизмов, осуществляющих в нужной последовательности подачу нового и уборку отработанного огнеупорных изделий [7, 8].

Успешное решение поставленной задачи требует, с учетом достоинств и недостатков известных аналогов, описанных в открытых литературных источниках [9–11], поиска новых идей, которые предусматривают комплексное применение нескольких

механизмов в одной системе, позволяющей выполнить быструю механизированную замену огнеупорного погружного стакана.

Цель работы — разработка нового отечественного варианта механизированной системы замены погружного стакана, предназначенной для защиты стали от вторичного окисления на участке между промежуточным ковшом и кристаллизатором при непрерывном литье слябовых заготовок крупными сериями.

Изложение материала и результатов исследования. В соответствии с действующим соглашением о научно-техническом сотрудничестве между кафедрами «Механическое оборудование заводов черной металлургии им. В. Я. Седуша» Донецкого национального технического университета и «Машины металлургического комплекса» Донбасского государственного технического университета в 2020 году начаты совместные исследования, направленные на разработку прогрессивных образцов оборудования для выполнения вспомогательных операций по обслуживанию МНЛЗ. На основе результатов ранее выполненных исследований и разработок в данной научно-технической области специалистами профильных кафедр разработана усовершенствованная конструкция системы, предназначенной для механизированной замены погружного стакана, входящего в конструкцию разливочного устройства промежуточного ковша. Конструктивное исполнение системы показано на рисунке 1, *а*, а ее 3D-модель приведена на рисунке 1, *б*.



а *б*

Рисунок 1 — Общий вид разливочного устройства промежуточного ковша (*а*) и модернизированная система для замены его погружного огнеупорного стакана (*б*)

Разливочное устройство (рис. 1, *а*) включает фланец *6*, несущий корпус *7* с продольными направляющими *8*, на которые опирается своей верхней частью погружной стакан *1*. Для прижатия стакана к базовой плите разливочного стакана *5* служат пружины *3*, опирающиеся своими нижними торцами на резьбовые пробки *2* и передающие усилие через элементы *4*.

Система быстрой механизированной замены погружного стакана (рис. 1, *б*) включает поворотную колонну *8* (установленную на специальной платформе или рычаге, закрепленном на раме тележки промковша), снабженную в верхней части консолью *7*, к которой шарнирно прикреплены с возможностью поворота две пары планок *5* и *6*, несущие на нижних своих концах две балки *11*. Эти балки в совокупности с консолью *7* и планками *5* и *6* образуют параллелограммный механизм. Сверху на передних концах балок *11* закреплена пластина, на которой находится горизонтально расположенный гидроцилиндр *3*, и вилка *1* на шарнирах, несущая сменный погружной стакан *2*. Вилка *1* посредством регулируе-

мой тяги *10* связана с корпусом гидроцилиндра *9*, шток которого шарнирно соединен с поперечиной *4*, связывающей в средней части две передние планки *5*. С целью расширения технических возможностей разработанной системы она была дополнена механизмом *12* удаления замененного погружного стакана из кристаллизатора без участия разливщика. Конструктивно механизм выполнен в виде несущей полой балки квадратного сечения с кронштейном, к заднему торцу которой посредством фланца присоединен гидроцилиндр. Последний приводит в движение размещенные внутри балки и последовательно связанные между собой реечную и кулачковую передачи. Их работа обеспечивает поворот балки в горизонтальной плоскости на заданный угол относительно манипулятора в сторону вытолкнутого отработанного стакана, захват изделия губками и его одновременное отклонение в вертикальной плоскости для вывода из полости кристаллизатора.

Для выполнения проектирования разработанной системы предварительно подготовили методики расчета энергосиловых параметров входящих в ее состав 3-х структурных механизмов, приводимых в действие гидроцилиндрами.

Расчетная схема механизма пространственного перемещения погружного стакана при его подаче на приемные салазки разливочного устройства промежуточного ковша представлена на рисунке 2.

В соответствии с представленной схемой силовой гидроцилиндр при работе преодолевает нагрузки, связанные с подъемом платформы, на которой размещен силовой гидроцилиндр механизма проталкивания погружных стаканов и закреплен кронштейн, удерживающий механизм уборки отработанного огнеупорного элемента. При этом максимальная нагрузка на гидравлический привод механизма будет в конечном положении.

Пренебрегая массой четырех структурных звеньев параллелограммного механизма, которые удерживают на весу две горизонтальные балки, несущие плиту с размещенным на ней гидроцилиндром для проталкивания погружных стаканов и прикрепленным к ней механизмом уборки отработанного стакана, а также поворотную скобу с новым погружным стаканом, составим уравнение моментов сил относительно центра О:

$$F_{\text{ц}} \cdot h = P_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} + P_{\text{ц}} \cdot h_{\text{ц}} + P_{\text{м}} \cdot h_{\text{м}} + P_{\text{пс}} \cdot h_{\text{пс}},$$

где $P_{\text{п}}$ — сила тяжести платформы;

$P_{\text{ц}}$ — сила тяжести гидроцилиндра для проталкивания погружных стаканов;

$P_{\text{м}}$ — сила тяжести механизма уборки отработанного погружного стакана;

$P_{\text{пс}}$ — сила тяжести погружного стакана.

Откуда сила, развиваемая гидроцилиндром подъема платформы,

$$F_{\text{ц}} = \left(P_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} + P_{\text{ц}} \cdot h_{\text{ц}} + P_{\text{м}} \cdot h_{\text{м}} + P_{\text{пс}} \cdot h_{\text{пс}} \right) / h .$$

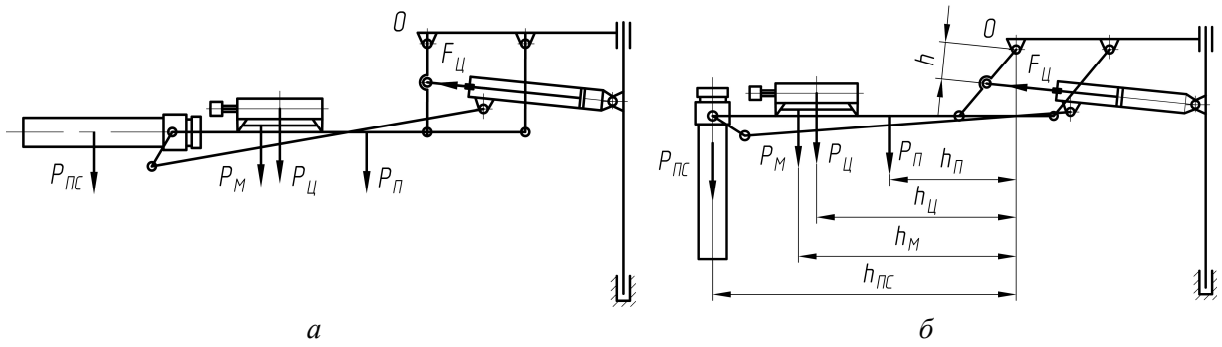


Рисунок 2 — Расчетная схема параллелограммного механизма, обеспечивающего подачу нового погружного стакана к разливочному устройству промежуточного ковша слябовой МНЛЗ в исходном (*а*) и конечном (*б*) положениях

На основании рассчитанного значения силы $F_ц$ подбирают основные характеристики приводного гидроцилиндра. После выбора рабочего давления p из стандартного ряда, создаваемого насосом маслостанции, рассчитывают требуемый диаметр поршня силового гидроцилиндра:

$$d_п = \sqrt{4 \cdot F_ц / (\pi \cdot p)}\,.$$

Расчет силовых параметров гидравлического привода механизма, осуществляющего проталкивание двух погружных стаканов, выполнен в соответствии с расчетной схемой, показанной на рисунке 3. На его элементы действуют статические и динамические нагрузки.

Согласно данным, приведенным в работах [9–12], статические силы сопротивления перемещению погружных огнеупорных стаканов связаны с трением в зонах контакта огнеупорных элементов разливочной системы и в опорном узле, образованном металлической обечайкой погружного стакана и прижимными штифтами. Дополнительная составляющая сопротивления возникает при смещении отработанного стакана и обусловлена необходимостью разрушения корки, образующейся на стенках сталевыпускного канала промежуточного ковша при серийной разливке стали, а также раскрытием губок вилки, сжимающих верхнюю часть сменного погружного стакана при его выталкивании на приемные направляющие. С учетом этого предварительно следует определить требуемую силу прижатия огнеупорных элементов, при которой исключается возможность прохода жидкой стали между их контактными поверхностями. К тому же значение данной силы потребуется для определения нагрузок, вызванных трением между контактными поверхностями элементов разливочной системы при их относительном перемещении.

Минимальное значение силы прижатия огнеупорных элементов определяется из выражения

$$F_{пр} = P_{пс} + P_{см} + F_{сопр} \cdot h / l_п + \\ + F_{ис} \cdot h_{ис} / l_п + F_{им} \cdot h_{им} / l_п,$$

где $P_{пс}$ — сила тяжести погружного стакана;

$P_{см}$ — вес столба жидкого металла, оказывающий давление на плиту погружного стакана со стороны промежуточного ковша;

$F_{сопр}$ — сила гидродинамического сопротивления, возникающая при перемещении стакана, часть которого погружена в расплавленный металл;

$F_{ис}$, $F_{им}$ — соответственно сила инерции, действующая на погружной стакан в начальный момент его перемещения при замене, и сила инерции расплавленного металла, находящегося во внутреннем канале погруженной части стакана;

$l_п$ — длина фланца погружного стакана.

h, $h_{ис}$, $h_{им}$ — соответственно расстояние от фланца погружного стакана до действия силы $F_{сопр}$, $F_{ис}$, $F_{им}$.

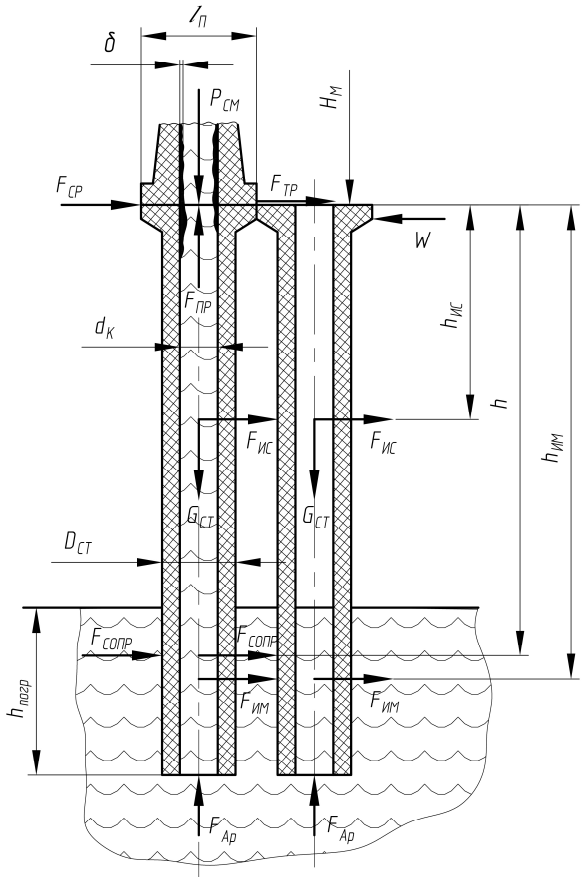


Рисунок 3 — Схема приложения сил, действующих на погружные стаканы во время их проталкивания в разливочном устройстве промежуточного ковша

Силу, обусловленную весом столба жидкой стали, вычисляют по следующей зависимости:

$$P_{\text{см}} = \rho_{\text{с}} g H_{\text{м}} \cdot \pi d_{\text{к}}{}^2 / 4,$$

где $\rho_{\text{с}}$ — плотность жидкой стали;

g — ускорение свободного падения;

$H_{\text{м}}$ — глубина расположения фланца погружного стакана под уровнем расплава в промежуточном ковше;

$d_{\text{к}}$ — диаметр сталевыпускного канала.

Усилие, обусловленное фронтальным сопротивлением участка погружного стакана, погруженного в расплавленный металл, в процессе его перемещения:

$$F_{\text{сопр}} = c \cdot \frac{\rho_{\text{с}} \cdot S_{\text{ст}}}{2} \cdot v_0^2,$$

где c = 0,4 — коэффициент лобового сопротивления;

$S_{\text{ст}}$ — площадь максимального поперечного сечения стакана в плоскости, перпендикулярной направлению движения;

v_0 — скорость перемещения стакана в расплаве стали.

Параметр $S_{\text{ст}}$ представляет собой площадь сечения погружного стакана, на которую воздействует динамический напор жидкой стали:

$$S_{\text{ст}} = h_{\text{погр}} \cdot D_{\text{ст}},$$

где $h_{\text{погр}}$ — высота части погружного стакана, погруженная в жидкий металл;

$D_{\text{ст}}$ — наружный диаметр погружного стакана.

Скорость перемещения погружного стакана относительно металла в кристаллизаторе при треугольной циклограмме движения:

$$v_0 = 2 \cdot l_{\text{п}} / t_{\text{З}},$$

где $t_{\text{з}}$ — время, за которое осуществляют замену погружного стакана.

Силы инерции погружного стакана $F_{\text{ис}}$ и жидкого металла $F_{\text{им}}$, находящегося внутри канала погруженной части данного стакана:

$$F_{\text{ис}} = m_{\text{ст}} \cdot a_{\text{ст}};$$

$$F_{\text{им}} = m_{\text{м}} \cdot a_{\text{м}}.$$

Здесь $m_{\text{ст}}$ и $m_{\text{м}}$ — соответственно масса погружного стакана и металла, находящегося в заглубленной части его канала, $a_{\text{ст}} = a_{\text{м}}$ — ускорение стакана, развиваемое приводом при его замене:

$$a_{\text{ст}} = v_0 / t_{\text{р}},$$

где $t_{\text{р}}$ — время разгона стакана, $t_{\text{р}} = 0{,}5 \cdot t_{\text{з}}$.

Зная силу прижатия огнеупорных изделий разливочной системы, можно определить суммарную силу трения $F_{\text{тр}} = F_{\text{тр1}} + F_{\text{тр2}} + F_{\text{тр3}}$ между контактными поверхностями элементов системы при их относительном перемещении.

Сила трения, возникающая между контактирующими рабочими поверхностями керамических элементов разливочного устройства:

$$F_{\text{тр1}} = \mu_{\text{п}} \cdot (F_{\text{пр}} + F_{\text{Ар}}),$$

где $\mu_{\text{п}}$ — коэффициент трения скольжения между контактными поверхностями огнеупорных элементов;

$F_{\text{Ар}}$ — сила Архимеда, действующая на погружной стакан.

Сила трения между металлическими поверхностями в опорном узле разливочного устройства:

$$F_{\text{тр2}} = \mu_{\text{с}} \cdot F_{\text{пр}},$$

где $\mu_{\text{с}}$ — коэффициент трения скольжения между контактными металлическими поверхностями.

Сила трения, возникающая между контактирующими поверхностями металлических элементов приемных салазок и обечайки сменного погружного стакана:

$$F_{\text{тр3}} = \mu_{\text{с}} \cdot (G_{\text{ст}} - F_{\text{Ар}}),$$

где $G_{\text{ст}}$ — вес погружного стакана.

Усилие разрушения настыли, образующейся на внутренней поверхности сталевыпускного канала промежуточного ковша МНЛЗ:

$$F_{\text{ср}} = k_1 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot S_{\text{ср}},$$

где k_1 — коэффициент, равный отношению максимального сопротивления срезу к

пределу прочности материала образующейся корки;

$\sigma_в$ — предел прочности стали при заданной температуре;

$S_{ср}$ — площадь поперечного сечения срезаемой корки:

$$S_{ср} = \pi \cdot (d_к \cdot \delta - \delta^2),$$

где $d_к$ — диаметр канала погружного стакана;

δ — толщина образующейся затвердевшей металлической корки.

Значения параметров, входящих в приведенные выше уравнения, при выполнении расчетов допускается принимать следующим образом: $\mu_п = 0{,}3–0{,}7$; $\mu_с = 0{,}15–0{,}18$; $k_1 = 0{,}7–0{,}8$; $\sigma_в = 50–60$ МПа; $\delta = 5–8$ мм.

В результате суммарное сопротивление перемещению W погружного стакана при его замене может быть представлено в виде

$$W = F_{ср} + F_{тр} + 2F_{сопр} + 2F_{ис} + 2F_{им}.$$

Параметры приводного гидроцилиндра устанавливают на основе расчетного значения силы W. После выбора рабочего давления p из стандартного ряда, создаваемого насосом маслостанции, определяют необходимый диаметр поршня силового гидроцилиндра:

$$d_п = \sqrt{4 \cdot W / (\pi \cdot p)}.$$

Расчет энергосиловых параметров привода механизма уборки отработанного огнеупорного изделия выполняется с учетом значений действующей технологической нагрузки. Определение указанной нагрузки выполним с использованием расчетной схемы, приведенной на рисунке 4.

При составлении расчетной схемы учитывали то обстоятельство, что для снижения нагрузки на привод рассматриваемого механизма во время отвода заменяемого погружного стакана его захват должен осуществляться в зоне расположения центра тяжести самого огнеупорного изделия с целью исключения появления крутящего момента, который вызовет дополнительную силу, действующую со стороны копира на ролик поворотного рычага. В таком случае суммарная нагрузка на привод механизма будет складываться из сил сопротивления, вызванных трением скольжения двух ползунов, закрепленных на концах зубчатой рейки, и действующей на нее силы, требуемой для поворота всего механизма в горизонтальной плоскости относительно удерживающей его стойки, которая с помощью кронштейна жестко связана с горизонтальной пластиной параллелограммного механизма манипулятора. При расчете рассматриваем положение механизма, когда его подвижная часть начинает перемещение относительно несущей полой балки с отработанным погружным стаканом, зажатым губками схвата манипулятора.

Суммарная сила сопротивления перемещению подвижной части механизма

$$F_с = F_{тр1} + F_{тр2} + F_{зр},$$

где $F_{тр1}$ — сила трения скольжения между поверхностями переднего ползуна и несущей полой балки;

$F_{тр2}$ — сила трения скольжения между поверхностями заднего ползуна и несущей полой балки;

$F_{зр}$ — сила сопротивления перемещению зубчатой рейки, вызванная действием момента сопротивления повороту несущей полой балки относительно удерживающей ее стойки.

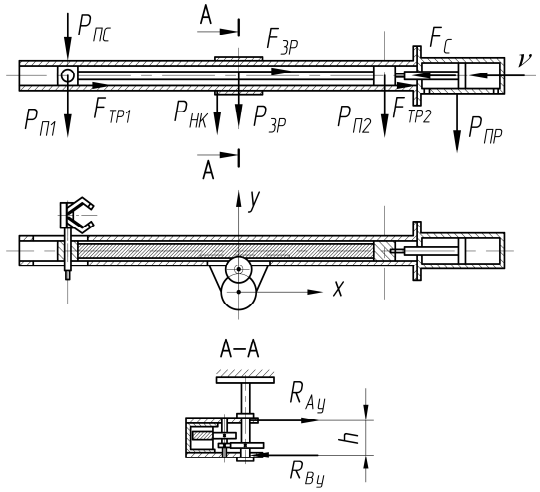


Рисунок 4 — Расчетная схема для определения нагрузки, преодолеваемой приводом механизма уборки отработанного погружного стакана

Сумма сил трения скольжения:

$$F_{тр1} + F_{тр2} = \left(P_{п1} + P_{пс} + P_{зр} + P_{п2}\right)\mu,$$

где $P_{п1}$ — суммарная сила тяжести переднего ползуна и связанного с ним схвата;

$P_{пс}$ — сила тяжести погружного стакана, удерживаемого схватом;

$P_{зр}$ — сила тяжести зубчатой рейки;

$P_{п2}$ — сила тяжести заднего ползуна;

μ — коэффициент трения скольжения между контактными поверхностями ползунов и полой несущей балкой.

Для определения силы сопротивления перемещению зубчатой рейки $F_{зр}$, вызванной действием момента сопротивления повороту несущей полой балки относительно удерживающей ее стойки, рассмотрим схему этого узла, приведенную на разрезе А–А рисунка 4.

В горизонтально расположенных подшипниках скольжения двух щек, между которыми закреплена несущая консоль, действуют моменты сопротивления повороту щек относительно стойки. Суммарное значение указанных моментов составит

$$M_{с} = \left(R_{А} + R_{В}\right)\mu \cdot d_{ц} / 2,$$

где $R_{А}$ и $R_{В}$ — силы реакций подшипниковых опор;

$d_{ц}$ — диаметр цапфы подшипника.

С целью определения опорных реакций составим систему уравнений равновесия для моментов сил, действующих на систему уборки отработанного погружного стакана в двух ортогональных плоскостях, проходящих через оси X и Y.

Сумма моментов относительно оси У:

$$P_{пс}x_{пс} + P_{нк}x_{нк} + P_{п1}x_{п1} + P_{зр}x_{зр} - \\ -P_{п2}x_{п2} - P_{пр}x_{пр} = R_{Ax}h,$$

где $P_{нк}$ — сила тяжести несущей консоли;

$P_{пр}$ — сила тяжести привода;

$x_{пс}$, $x_{нк}$, $x_{п1}$, $x_{зр}$, $x_{п2}$, $x_{пр}$ — плечо действия соответствующей силы относительно оси У.

Откуда

$$R_{Ax} = R_{Bx} = (P_{пс}x_{пс} + P_{нк}x_{нк} + P_{п1}x_{п1} + \\ +P_{зр}x_{зр} - P_{п2}x_{п2} - P_{пр}x_{пр}) / h.$$

Сумма моментов относительно оси X:

$$P_{пс}y_{пс} + P_{нк}y_{нк} + P_{п1}y_{п1} + P_{зр}y_{зр} + \\ +P_{п2}y_{п2} + P_{пр}y_{пр} = R_{Ay}h,$$

где $y_{пс}$, $y_{нк}$, $y_{п1}$, $y_{зр}$, $y_{п2}$, $y_{пр}$ — плечо действия соответствующей силы относительно оси X.

Откуда

$$R_{Ay} = R_{By} = (P_{пс}y_{пс} + P_{нк}y_{нк} + P_{п1}y_{п1} + \\ +P_{зр}y_{зр} + P_{п2}y_{п2} + P_{пр}y_{пр}) / h.$$

Тогда

$$R_{А} = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2} \text{ и } R_{В} = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}.$$

Сила сопротивления перемещению зубчатой рейки $F_{зр}$, вызванная действием момента сопротивления повороту несущей полой балки относительно стойки, определяется из выражения

$$F_{зр} = M_{С} / (i_{зп} \cdot r_{зк}),$$

где $i_{зп}$ — передаточное число зубчатой пары;

$r_{зк}$ — радиус делительной окружности зубчатого колеса, находящегося в зацеплении с зубчатой рейкой.

Полученное значение суммарной силы сопротивления перемещению подвижной части механизма $F_{с}$ позволяет рассчитать параметры гидравлического привода, непосредственно перемещающего зубчатую рейку, например, диаметр поршня силового гидроцилиндра определяется выражением

$$d_{п} = \sqrt{4 \cdot F_{с} / \left(\pi \cdot p\right)}.$$

Приведенные методики расчета были использованы при проектировании опытного образца разработанной системы механизированной замены погружного стакана [13].

Выводы и направления дальнейших исследований. С учетом того что в разработанной системе каждая из трех операций выполняется в строгой последовательности с помощью отдельных гидравлических механизмов, целесообразно управление ее

функционированием осуществлять в автоматическом режиме, что упростит работу обслуживающего персонала. Поэтому в ближайшее время с привлечением специалистов соответствующего профиля будет разработан блок автоматического управления, которым планируется укомплектовать опытно-промышленный образец предложенной системы.

Список источников

1. Куклев А. В., Лейтес А. В. Практика непрерывной разливки стали. М. : Металлургиздат, 2011. 432 с. EDN QNCXMX

2. Смирнов А. Н., Куберский С. В., Штепан Е. В. Непрерывная разливка стали. Донецк : ДонНТУ, 2011. 482 с.

3. Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Ячиков И. М. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2014. 348 с. EDN TSQULF

4. Валуев Д. В., Гизатулин Р. А. Непрерывная разливка стали и сплавов : учебное пособие. Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2014. 406 с.

5. Шахов С. И., Шахов Д. С. Модернизация машин непрерывного литья стали с целью повышения качества готовой продукции // Черная металлургия: бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 10 (1426). С. 50–61. EDN YMQXZB

6. Столяров А. М., Селиванов В. Н. Непрерывная разливка стали. Машины непрерывного литья заготовок : учебное пособие. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 192 с. EDN YMHHXL

7. Проектные особенности и ввод в эксплуатацию высокопроизводительной двухручьевой слябовой МНЛЗ на заводе фирмы COSIPA / Д. Гузела [и др.] // Металлургическое производство и технология. 2005. № 1. С. 22–27.

8. Смирнов А. Н., Несвет В. В. Опыт непрерывной разливки стали длинными сериями на многоручьевой МНЛЗ // Сталь. 2002. № 8. С. 36–39.

9. Еронько С. П., Ткачев М. Ю., Ошовская Е. В. Гидравлическое моделирование процесса смены погружных стаканов на слябовой МНЛЗ // Электрометаллургия. 2016. № 10. С. 15–22. EDN WWCYEZ

10. Еронько С. П., Сотников А. Л., Ткачев М. Ю. Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2012. № 3 (29). С. 26–38. EDN PCXTQT

11. Еронько С. П., Ошовская Е. В., Ткачев М. Ю. Исследование и совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой МНЛЗ // Известия вузов. Черная металлургия. 2016. № 1. С. 49–56. DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-49-56 EDN VQZZEN

12. Расчет и конструирование системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / С. П. Еронько, А. Л. Сотников, М. Ю. Ткачев, В. А. Чеченев // Металл и литье Украины. 2011. № 12. С. 36–44. EDN YDNTDZ

13. Использование компьютерного и физического моделирования при разработке систем быстрой смены погружных стаканов / С. П. Еронько, М. Ю. Ткачев, В. Ф. Борисенко, А. И. Землянский // Черная металлургия: бюл. ин-та «Черметинформация». 2016. № 2. С. 38–44. EDN VXBXKB

© Еронько С. П., 2026
© Петров П. А., Проценко М. Ю., Петров М. П., 2026

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ТМИК ЛГУ им. В. Даля Витренко В. А., к.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТУ Денисовой Н. А.

Статья поступила в редакцию 20.07.2026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Еронько Сергей Петрович, *д-р техн. наук, профессор каф. механического оборудования заводов черной металлургии им. В. Я. Седуша*
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия, e-mail: ersp52@mail.ru

Петров Павел Александрович, *канд. техн. наук, доцент каф. машин металлургического комплекса*
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Проценко Михаил Юрьевич, *канд. техн. наук, доцент, начальник управления перспективных научных исследований*
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Петров Максим Павлович, *аспирант, каф. машин металлургического комплекса*
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Eron'ko S. P. *(Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, e-mail: ersp52@mail.ru)***, Petrov P. A., Protsenko M. Yu., Petrov M. P.** *(Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia)*

DESIGN IMPROVEMENT AND CALCULATION OF THE POWER AND FORCE PARAMETERS OF THE MECHANIZED SUBMERGED NOZZLES REPLACEMENT SYSTEM AT A SLAB CCM

The design features of the improved mechanized submerged nozzles replacement system, which protects steel from secondary oxidation at the intermediate ladle — crystallizer of the slab continuous casting machine, are described. The paper presents methods for calculating the power-force parameters of its structural mechanisms, as well as recommendations for the practical application of the obtained data in the development of new domestic systems for the rapid replacement of protective refractory elements capable of competing with foreign analogues — which will help to address the objectives of the country's import substitution programme.

Key words: *crystallizer, slab blank, submerged nozzle, power mechanism, hydraulic cylinder, control block.*

References

1. Kuklev A. V., Lejtes A. V. Continuous steel casting practice [Praktika nepreryvnoj razlivki stali]. M. : Metallurgizdat. 2011. 432 p. EDN QNCXMX

2. Smirnov A. N., Kuberskii S. V., Shtepan E. V. Continuous steel casting [Nepreryvnaya razlivka stali]. Donetsk : DonNTU. 2011. 482 p.

3. Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Yachikov I. M. Continuous steel casting. Hydromechanics of continuous casting machines [Nepreryvnaya razlivka stali. Gidromekhanika mashin nepreryvnogo lit'ya zagotovok]. Magnitogorsk : Izd. Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta. 2014. 348 p. EDN TSQULF

4. Valuev D. V., Gizatulin R. A. Continuous steel casting and alloys : a training manual [Nepreryvnaya razlivka stali i splavov : uchebnoe posobie]. Tomsk : Izd. Tomskogo politekhn. un-ta. 2014. 406 p.

5. Shakhov S. I., Shakhov D. S. Modernization of continuous steel casting machines to improve the quality of finished products [Modernizaciya mashin nepreryvnogo lit'ya stali s cel'yu povysheniya kachestva gotovoj produkcii]. Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information. 2018. No. 10 (1426). Pp. 50–61. EDN YMQXZB

6. Stolyarov A. M., Selivanov V. N. Continuous steel casting. Continuous casting machines : a training manual [Nepreryvnaya razlivka stali. Mashiny nepreryvnogo lit'ya zagotovok : uchebnoe posobie]. Moscow ; Vologda : Infra-Inzheneriya. 2020. 192 p. EDN YMHHXL

7. Guzela D. [et al.]. Design features and putting into operation the high-performance double-strand slab CCM at the COSIPA plant [Proektnye osobennosti i vvod v ekspluataciyu vysokoproizvoditel'noj dvuhruch'evoj slyabovoj MNLZ na zavode firmy COSIPA]. Metallurgical Plant and Technology. 2005. No. 1. Pp. 22–27.

8. Smirnov A. N., Nesvet V. V. Experience of continuous steel casting in long series on a multi-strand continuous casting machine [Opyt nepreryvnoj razlivki stali dlinnymi seriyami na mnogoruch'evoj MNLZ]. Stal'. 2002. No. 8. Pp. 36–39.

9. Eron'ko S. P., Tkachev M. Yu., Oshovskaya E. V. Hydraulic modeling of the submerged nozzle change process on a slab continuous casting machine [Gidravlicheskoe modelirovanie processa smeny pogruzhnyh stakanov na slyabovoj MNLZ]. Elektrometallurgiya. 2016. No. 10. Pp. 15–22. EDN WWCYEZ

10. Eron'ko S. P., Sotnikov A. L., Tkachev M. Yu. Improving the quick-change system for submerged nozzles for serial steel casting on slab continuous casting machines [Sovershenstvovanie sistemy bystroj smeny pogruzhnyh stakanov dlya serijnoj razlivki stali na slyabovyh MNLZ]. Metallurgical processes and equipment. 2012. No. 3 (29). Pp. 26–38. EDN PCXTQT

11. Eron'ko S. P., Oshovskaya E. V., Tkachev M. Yu. Research and improvement of the system for quick change of submerged nozzles of the intermediate ladle of a slab continuous casting machine [Issledovanie i sovershenstvovanie sistemy bystroj smeny pogruzhnyh stakanov promezhutochnogo kovsha slyabovoj MNLZ]. Izvestiya. Ferrous Metallurgy. 2016. No. 1. Pp. 49–56. DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-49-56 EDN VQZZEN

*12. Eron'ko S. P., Sotnikov A. L., Tkachev M. Yu., Chechenev V. A. Calculation and design of a system for quick replacement of submersed nozzles in continuous stee*l *casting [Raschet i konstruirovanie sistemy bystroj zameny pogruzhnyh stakanov pri nepreryvnoj razlivke stali]. Metal and Casting of Ukraine. 2011. No. 12. Pp. 36–44. EDN YDNTDZ*

13. Eron'ko S. P., Tkachev M. Yu., Borisenko V. F., Zemlyanskij A. I. Using computer and physical modeling in the development of quick-change systems for submerged nozzles [*Ispol'zovanie komp'yuternogo i fizicheskogo modelirovaniya pri razrabotke sistem bystroj smeny pogruzhnyh stakanov]. Chernaya metallurgiya: byul. in-ta «Chermetinformaciya». 2016. No. 2. Pp. 38–44. EDN VXBXKB*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eron'ko Sergey Petrovich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants named after prof. Sedush V. Ya.*
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia, e-mail: ersp52@mail.ru

Petrov Pavel Aleksandrovich, *PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Metallurgical Complex Machines*
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Protsenko Mikhail Yuriyevich, *PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Advanced Scientific Research Department*
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Petrov Maxim Pavlovich, *Postgraduate of the Department of Metallurgical Complex Machines*
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia