

**В.И. Большаков, Ю.И.Черевик, А.М.Башмаков\***

**ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА**

*ИЧМ НАН Украины, \*Институт титана, г. Запорожье*

Получены аналитические зависимости, позволяющие оценивать степень устойчивости различных вариантов конструкции устройства ввода фурм в расплав уже на стадии их проектирования установок десульфурации чугуна.

**Современное состояние вопроса.** Особенности технологического процесса десульфурации чугуна и конструкции реализующего его рабочего инструмента – фурмы, имеющей развитые линейные размеры и выполняющей значительные перемещения в вертикальной плоскости, определяют индивидуальные требования к механическому оборудованию, реализующему эту технологию. На рис.1 представлен в разрезе один из типичных вариантов компоновки оборудования комплекса, расположенного на участке подачи чугуна в конвертеры, из которого видно, что он имеет главную площадку (+4.900), поднятую над нулевым уровнем, под которой перемещаются чугуновозы 13 и шлаковые тележки 14. На этой площадке размещается устройство ввода фурм (УВФ) в расплав 10, которое передвигается по рельсам и имеет два рабочих положения, в которых оно устанавливается и жестко фиксируется специальными приспособлениями.

Принципиальная схема устройства приведена на рис.2. Анализ этой схемы показывает, что ее характерной особенностью является наличие развитой в высоту трехъярусной металлоконструкции с тремя рабочими площадками (верхней I, средней II и нижней III), установленной на тележке, перемещающейся на колесах по рельсам главной площадки. Это устройство периодически совершает возвратно–поступательное движение в пределах заданного хода с остановками в крайних положениях. Такой режим работы устройства сопровождается изменениями скорости его движения от нуля до номинальных значений, что обуславливает появление ускорений и инерционных нагрузок в периоды разгона и торможения. Металлоконструкция устройства включает две колонны с направляющими и систему сосредоточенных масс, расположенных на различных уровнях. Каждая колонна несет подвижную вдоль её оси сосредоточенную массу, выполненную в виде каретки, подвешенной на цепной передаче, и закрепленное на этой каретке фурменное устройство.

Работа устройства ввода фурм в расплав характеризуется тремя основными этапами. Первый – устройство находится в неподвижном состоянии. В этом случае на опорные элементы тележки действуют статические нагрузки, определяемые весом металлоконструкции и расположенным на ней технологическим и механическим оборудованием.

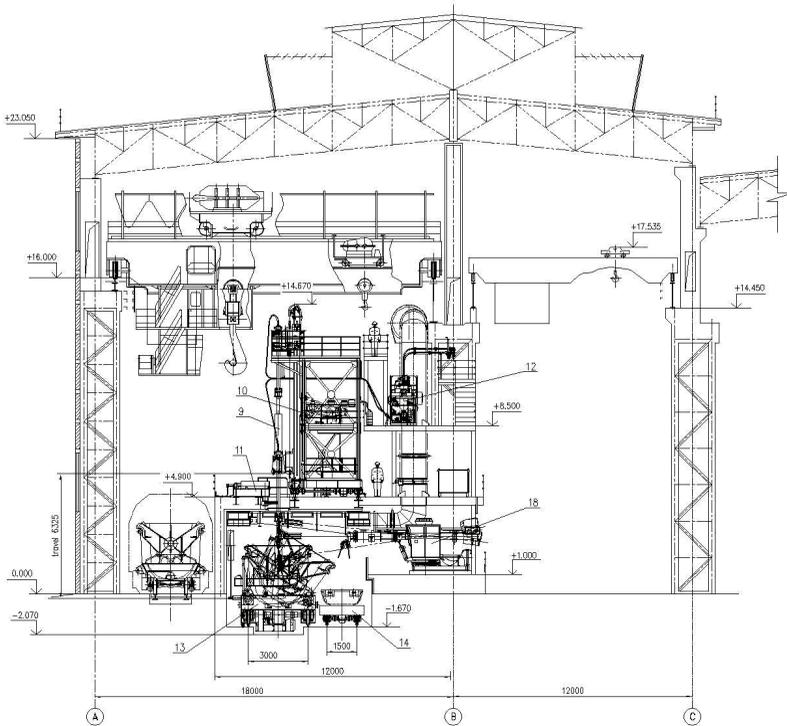


Рис. 1. Расположение оборудования современного комплекса десульфурации на участке подачи чугуна в конвертера.

9 – фурменное устройство; 10 – устройство ввода фурм в расплав; 11 – устройство фиксации фурм в нижнем рабочем положении; 12 – модуль-дозатор; 13 – чугуновоз; 18 – машина для скачивания шлака.

Второй – устройство перемещается между крайними рабочими положениями. В этом случае на опоры устройства кроме статических нагрузок действуют еще и инерционные нагрузки, воздействие которых ухудшает устойчивость устройства, так как способствует появлению дополнительных опрокидывающих и вращающих моментов.

Третий – устройство находится в одном из рабочих положений. Этому предшествуют такие подготовительные операции как опускание и подъем фурмы с продувкой газом, а после остановки в рабочем положении – основная технологическая операция – продувка чугуна гранулированным магнием. Этот этап характеризуется действием на работающую фурму

динамических нагрузок, величина и характер изменения которых получены экспериментально [1], а также оценены по результатам моделирования [2]. Оценка влияния этих внешних нагрузок на динамику системы привода в каждом конкретном случае требует расчета и моделирования, результаты которых опираются на данные экспериментальных исследований.

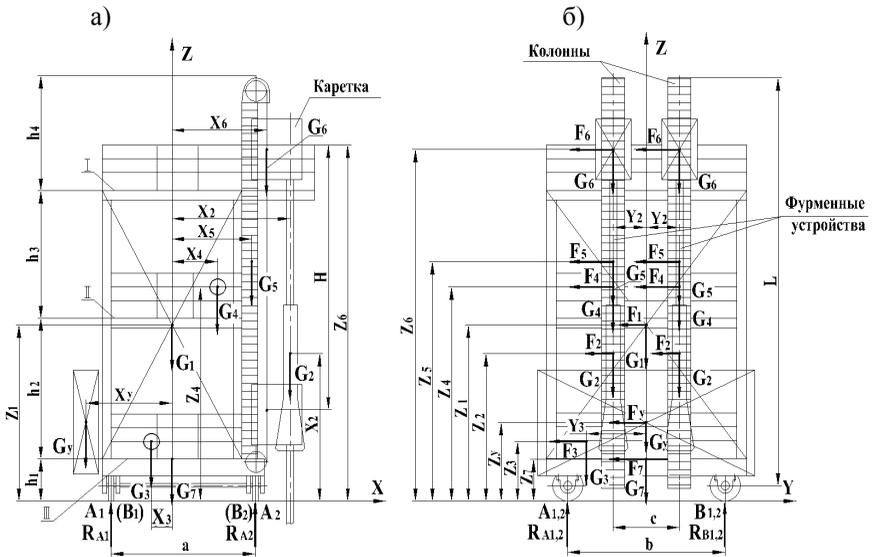


Рис.2. Принципиальная схема устройства ввода фурмы в расплав.

а – профильная проекция в статическом положении;

б – фронтальная проекция при движении.

Здесь,  $G_1 \dots G_7$  – соответственно, вес металлоконструкции, фурменного устройства, привода тележки, привода каретки, направляющей колонны, каретки, тележки;  $G_y$  – вес контргруза.

**Постановка задачи.** Таким образом, при проектировании устройства такой конструкции необходимо учитывать ряд факторов, от которых зависят нагрузки и устойчивость в статическом состоянии, при перемещении, а также во время десульфурации и подготовке к ней. Прежде всего, это:

расположение оборудования устройства, особенно размещаемого на его консольной части, которое целесообразно устанавливать на минимально возможном расстоянии от наружной границы опор (колес) тележки;

обоснованный выбор максимально допустимой скорости передвижения устройства, а также время разгона и торможения, которые могут ограничиваться уровнем инерционных нагрузок, создающих опрокидываю-

щие моменты из-за высокого положения центров тяжести металлоконструкции и расположенных на ней узлов и элементов устройства;

выбор рациональных размеров опорной базы, формируемой шириной колеи рельсового пути и расстоянием между осями колес опорной тележки;

оценка устойчивости устройства при действии на него технологической нагрузки от продувки фурмы чистым газом при опускании и подъеме фурменного устройства, а также во время возникновения возможных аварийных ситуаций при продувке чугуна парами магния, например, в случае выхода из строя механизма фиксации фурмы.

Для обеспечения гарантированной устойчивости устройств ввода фурм в жидкий чугун в различных производственных ситуациях (в статическом положении, во время движения, при опускании и подъеме фурмы и при продувке), перед выбором их основных конструктивных параметров и последующим проектированием, необходимо определить реальные нагрузки, действующие на опорно-направляющие элементы этих устройств, и оценить равномерность распределения этих нагрузок между опорами, то есть определить коэффициенты устойчивости и оценить возможные пути увеличения этих коэффициентов.

**Изложение основных материалов исследования.** Решение поставленной задачи имеет следующее обоснование, для которого использовались принципиальная и расчетные схемы, представленные на рис.2,а и б, а также приняты следующие обозначения и допущения:

1. Поскольку УВФ представляет собой объемную конструкцию, укомплектованную оборудованием в плоскости  $y-z$  практически симметрично относительно оси  $z$  (рис.2, б), то при дальнейших исследованиях и расчетах примем, что нагрузка между осями опорной тележки в статическом положении распределяется одинаково.

2. Для оценки степени устойчивости конструкции будем использовать такое понятие как коэффициент устойчивости ( $KU$ ), который характеризует отношение между величинами опорных реакций. Для каждой плоскости объемной конструкции он будет оцениваться отдельно и обозначаться  $KU_x$  и  $KU_y$ .

Обоснование основано на определении коэффициентов устойчивости устройства при изменении значений его опорных реакций в статическом положении с последующим уточнением значений этих коэффициентов при перераспределении нагрузок между опорами во время движения устройства, а также при выполнении технологических операций. Такое обоснование позволит правильно выбирать основные конструктивные параметры и скоростные режимы работы, а также находить пути обеспечения надежной устойчивости системы в экстремальных условиях эксплуатации.

В том случае, когда УВФ находится в статическом положении, зависимости для определения опорных реакций в плоскости  $x-z$  относительно оси  $x$  можно представить в следующем виде:

$$\sum M_{A_1}^x = \sum M_1 + \sum M_2 - 2R_{A_2}^x \cdot a = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_{A_2}^x = -\sum M_1^* + \sum M_2^* + 2R_{A_1}^x \cdot a = 0; \quad (2)$$

Решая уравнения (1) и (2) относительно опорных реакций, получаем зависимости для их определения:

$$R_{A_1}^x = \frac{\sum M_1^* - \sum M_2^*}{2a} \quad (3)$$

$$R_{A_2}^x = \frac{\sum M_1 + \sum M_2}{2a} \quad (4)$$

Коэффициент устойчивости конструкции в плоскости  $x-z$  определяется зависимостями:

$$KY_x = \frac{R_{A_1}^x}{R_{A_2}^x} = \frac{\sum M_1^* - \sum M_2^*}{\sum M_1 + \sum M_2} \quad (5)$$

$$KY_y = \frac{R_{B(1,2)}^y}{R_{A(1,2)}^y} = \frac{\sum M_{B(1,2)}^y}{\sum M_{A(1,2)}^y} \quad (6)$$

В выражениях (1)–(6) приняты следующие обозначения:  $\sum M_1$  и  $\sum M_1^*$  – моменты в плоскости  $x-z$  от сил тяжести элементов конструкции и оборудования, центры тяжести которых расположены внутри периметра опорного основания;  $\sum M_2$  и  $\sum M_2^*$  – моменты в плоскости  $x-z$  от сил тяжести элементов конструкции и оборудования, центры тяжести которых расположены вне периметра опорного основания;  $\sum M_{A(1,2)}^y$  и  $\sum M_{B(1,2)}^y$  – моменты в плоскости  $y-z$  от тех же сил.

Анализ зависимости  $KY_x$  (5) показывает, что коэффициент устойчивости конструкции в плоскости  $x-z$  относительно оси  $x$  зависит от ширины колеи рельсового полотна (рис.2, *a*), а также от координат центров тяжести и веса оборудования, находящегося вне периметра опорного основания тележки. Анализ зависимости  $KY_y$  (6) показывает, что коэффициент устойчивости конструкции в плоскости  $y-z$  относительно оси  $y$  зависит от величины базового расстояния между осями тележки (рис.2, *б*), а также симметричности расположения оборудования на рабочих площадках относительно оси  $z$ . Наличие в устройстве ввода фурм значительных по величине распределенных и сосредоточенных масс, расположенных на раз-

личных уровнях и в разных плоскостях, приводит к тому, что при смене направления движения УВФ (во время его разгона и торможения) возникают переменные по величине и знаку инерционные нагрузки, действие которых приводит к появлению дополнительных опрокидывающих и вращающих моментов, которые способствуют перераспределению нагрузок между опорами и могут привести к нарушению устойчивости этих устройств во время движения.

При движении УВФ выражение для определения коэффициента устойчивости конструкции в плоскости  $y-z$  определяется зависимостью:

$$KU_y = \frac{\sum M_{B(1,2)}^y - \sum M_{ин}^y}{\sum M_{A(1,2)}^y + \sum M_{ин}^y} \quad (7)$$

Технологическая нагрузка ( $P_T$ ) через гибкий элемент привода фурменного устройства начинает действовать на УВФ с момента начала погружения фурмы в расплав и до момента её фиксации механизмом зажима, а также при подъеме фурмы после продувки до выхода её из расплава. Возможно также воздействие на установку технологической нагрузки во время продувки, если вышел из строя механизм фиксации фурмы (аварийная ситуация). В этом случае для определения опорных реакций используются уравнения (3) и (4), а выражения для определения в этих уравнениях моментов  $\sum M_2$  и  $\sum M_2^*$  добавляется действие технологической нагрузки.

**Выводы.** Таким образом, в результате анализа различных производственных ситуаций, предшествующих и сопутствующих подготовке и проведению процесса десульфурации, подготовлена необходимая теоретическая база и получены аналитические зависимости, позволяющие оценивать степень устойчивости различных вариантов конструкции УВФ уже на стадии их проектирования, а также определять основные конструктивные параметры устройств нового поколения, обладающих повышенной устойчивостью к внешним возмущениям статического и динамического характера.

1. *Совершенствование оборудования отделения десульфурации чугуна с погружаемыми фурмами / А.Г.Бондаренко, А.Ф.Шевченко, Н.П.Остапчук и др. // Металлург. – 1983. – № 3. – С.17–20.*
2. *Большаков В.И., Богачев Ю.А., Маслов Н.А. Динамические характеристики привода установки десульфурации чугуна // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. – С.70–73.*

*Статья рекомендована к печати канд.техн.наук В.В.Верневым*