

А.М.Башмаков

ВЫБОР ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ВВОДА ФУРМ В РАСПЛАВ

Институт титана, г.Запорожье

Показано, что выбор на стадии проектирования основных конструкционных параметров устройства ввода фурм в расплав обеспечивают устойчивость этого устройства при десульфурации чугуна.

Введение. На основании выполненных исследований, результаты которых приведены в работах [1–3], подготовлена необходимая теоретическая база, позволяющая определять нагрузки, действующие на фурму при десульфурации [1,2], а также получены аналитические зависимости, позволяющие оценивать степень устойчивости устройства ввода фурм (УВФ) в расплав при различных производственных ситуациях [3]. Это позволило грамотно определять и обосновано закладывать уже на стадии проектирования основные конструктивные параметры этих устройств.

Изложение основных материалов исследования. Решая поставленную задачу, необходимо иметь в виду, что такие параметры УВФ как ход каретки и длина фурменного устройства определяются технологическими особенностями процесса десульфурации и задаются при проектировании как постоянные исходные величины. Ход каретки является базовым параметром, от величины которого зависят габаритные размеры металлоконструкции, уровень рабочих площадок, координаты центров тяжести сосредоточенных масс и линейные размеры направляющих колонн. Значения остальных параметров, таких как величина перемещения устройства по рельсам, ширина колеи рельсового пути, опорная база тележки, величины масс оборудования и координаты их центров тяжести, а также размеры консольной части металлоконструкции, то есть значения тех параметров, от которых зависит устойчивость устройства, уточняются по результатам дополнительных исследований.

В производственных условиях (при продувках и в паузах между ними) имеют место три рабочих состояния устройства, а именно: – неподвижное; – движение между крайними положениями; – наличие в одном из рабочих положений при продувке. При неподвижном состоянии УВФ устойчивость его конструкции в плоскостях $x-z$ и $y-z$ характеризуется коэффициентами устойчивости KU_x и KU_y [3]. Диапазон изменения значений этих коэффициентов оценивается путем изменения величин хода устройства (c) и опорной базы тележки (a и b), веса оборудования (G) и его расположения, а также размеров консольной части металлоконструкции устройства. Вариант проработки принципиальной схемы эскизного проекта конструкции УВФ позволил ориентировочно определить возможные границы изменения исследуемых параметров, которые приведены на рис.1 и

в табл.1. Значения этих параметров и были положены в основу дальнейших исследований для определения их конечных значений.

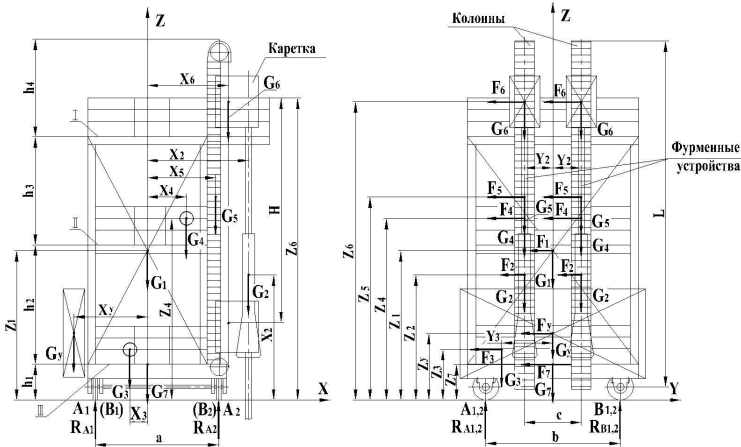


Рис.1. Принципиальная схема устройства ввода фурмы в расплав.

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

Результаты определения опорных реакций, полученных при усредненных значениях веса металлоконструкции и оборудования (табл.1, поз.4, вариант 2), показали, что величина опорных реакций в опорах A_2 и B_2 изменяется в интервале от 145 до 165 кН, в то время как в опорах A_1 и B_1 они не превышают 40–55 кН.

Определение коэффициента устойчивости KV_x производилось при изменении колеи рельсового пути тележки (a) в диапазоне от 3,0 до 4,0 метров. Величина консольной части металлоконструкции характеризуется координатами x_2 , x_5 и x_6 . Координата x_5 изменялась от величины $x_5 = 0,5a$ с интервалом в 200 мм в сторону увеличения. Абсолютные значения координат x_2 и x_6 , определяющих положение центра тяжести основного технологического оборудования, находятся в прямой зависимости от координаты x_5 , увеличение значения которой приводит к их росту на такую же величину. Результаты вычислений этих координат приведены в табл.2.

На рис.2 представлено семейство кривых 1, 2 и 3, отображающих характер изменения и абсолютные значения коэффициента устойчивости при статическом положении устройства и различных исходных расчетных конструктивных параметрах. Уменьшение размеров консольной части металлоконструкции приводит к увеличению значения KV_x до 0,338 в случае когда $x_5 = 0,5a$, то есть когда оси направляющих колонн совпадают с осью головки рельса опор A_2 и B_2 .

Таблица 1. Варианты значений величин основных конструктивных параметров устройств ввода при исследовании их установки

№ п.п.	Порядковый номер		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7						
	массы	Наименование, обозначение, номер варианта																											
1	Координаты центра тяжести массы по оси x в м	1	0	2,3	0,6	1,5	1,9	0	0	2,55	0,85	0,85	1,75	2,15	0	0	2,80	1,10	1,10	2,00	2,40	0	0						
		2	0	2,5	0,7	1,7	2,1	0	0	2,75	0,95	0,95	1,95	2,35	0	0	3,00	1,20	1,20	2,20	2,60	0	0						
		3	0	2,7	0,8	1,9	2,3	0	0	2,95	1,05	1,05	2,15	2,55	0	0	3,20	1,30	1,30	2,40	2,80	0	0						
2	Координаты центра тяжести массы по оси y в м	1	0	0,75	1,55	0,75	0,75	0	0	1,0	1,8	1,0	1,0	1,0	0	0	1,25	2,05	1,25	1,25	1,25	1,25	0	0					
		2	0	0,75	1,65	0,75	0,75	0	0	1,0	1,9	1,0	1,0	1,0	0	0	1,25	2,15	1,25	1,25	1,25	1,25	0	0					
		3	0	0,75	1,75	0,75	0,75	0	0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	0	0	1,25	2,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0	0					
3	Координаты центра тяжести массы по оси z в м	1	4,50	4,10	0,80	5,00	5,60	9,60	0,60	4,50	4,10	0,80	5,00	5,60	9,60	0,60	4,50	4,10	0,80	5,00	5,60	9,60	0,60	0,60					
		2	4,75	4,30	0,95	5,25	5,70	9,80	0,70	4,75	4,30	0,95	5,25	5,70	9,80	0,70	4,75	4,30	0,95	5,25	5,70	9,80	0,70	0,70					
		3	5,00	4,50	1,10	5,50	5,80	10,0	0,80	5,00	4,50	1,10	5,50	5,80	10,0	0,80	5,00	4,50	1,10	5,50	5,80	10,0	0,80	0,80					
4	Вес массы, в т	1	8,00	2,00	0,65	3,20	3,10	1,70	7,70	8,00	2,00	0,65	3,20	3,10	1,70	7,70	8,00	2,00	0,65	3,20	3,10	1,70	7,70	7,70					
		2	9,00	2,25	0,70	3,30	3,20	1,80	7,90	9,00	2,25	0,70	3,30	3,20	1,80	7,90	9,00	2,25	0,70	3,30	3,20	1,80	7,90	7,90					
		3	10,0	2,50	0,75	3,40	3,30	1,90	8,10	10,0	2,50	0,75	3,40	3,30	1,90	8,10	10,0	2,50	0,75	3,40	3,30	1,90	8,10	8,10					
5	Величина массы, в т сек ² /м	1	0,81	0,20	0,06	0,32	0,31	0,17	0,78	0,81	0,20	0,06	0,32	0,31	0,17	0,78	0,81	0,20	0,06	0,32	0,31	0,17	0,78	0,78					
		2	0,92	0,23	0,07	0,34	0,32	0,18	0,80	0,92	0,23	0,07	0,34	0,32	0,18	0,80	0,92	0,23	0,07	0,34	0,32	0,18	0,80	0,80					
		3	10,2	0,26	0,08	0,33	0,33	0,19	0,82	10,2	0,26	0,08	0,33	0,33	0,19	0,82	10,2	0,26	0,08	0,33	0,33	0,19	0,82	0,82					
6	Величина колен (а) и база (б) тележки, ход устройства (с) в м		$a_1 = 3,0; b_1 = 3,5; c_1 = 1,5$									$a_2 = 3,5; b_2 = 4,0; c_2 = 2,0$									$a_3 = 4,0; b_3 = 4,5; c_3 = 2,5$								

Таблица 2. Значения основных конструктивных параметров устройств ввода фурм и соответствующих им коэффициентов устойчивости в статическом положении устройства и при действии на него технологической нагрузки

№ № пп	Номер измерений		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Наименование											
1	Ширина колеи рельсового пути тележки (a), мм		3000			3500			4000			
2	Координаты, характеризующие величину консольной части установки, мм		x_2			x_2			x_2			
			2300	2500	2700	2550	2750	2950	2800	3000	3200	
			x_5			x_5			x_5			
			1500	1700	1900	1750	1950	2150	2000	2200	2400	
			x_6			x_6			x_6			
	1900	2100	2300	2150	2350	2550	2400	2600	2800			
3	Коэффициент устойчивости устройств (KU_x) в статическом положении		0,312	0,278	0,247	0,325	0,291	0,258	0,338	0,306	0,272	
4	Параметр, характеризующий величину плеча приложения технологической нагрузки на консоли ($x_7 - 0,5a$), в мм		800	1000	1200	800	1000	1200	800	1000	1200	
5	Коэффициент устойчивости устройства (KU_x) при действии технологической нагрузки	Величина технологической нагрузки (P_7), в кН	50	0,214	0,171	0,133	0,219	0,184	0,147	0,224	0,197	0,160
			100	0,150	0,108	0,068	0,163	0,124	0,089	0,168	0,136	0,104
			150	0,104	0,061	0,024	0,117	0,081	0,017	0,126	0,094	0,063

Дальнейшее уменьшение этого размера не представляется возможным из-за того, что колокольная часть фурменного устройства при опускании будет упираться в опорные элементы рельсового пути, то есть не будет

хватать габарита для свободного перемещения фурменного устройства по вертикали.

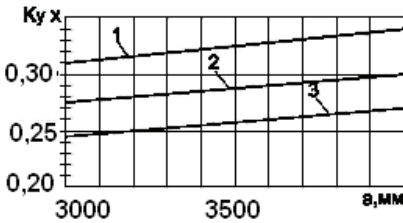


Рис.2. Характер изменения коэффициента устойчивости УВФ при статическом положении и различных значениях основных конструктивных параметров. Кривые 1,2 и 3 –изменение коэффициента устойчивости при величине консоли, характеризуемой параметрами $x_5=0,5a$; $x_5=0,5a+200$ мм; $x_5=0,5a+400$ мм, соответственно, и усредненных значениях веса оборудования (табл.5.6, поз.4, вариант 2)

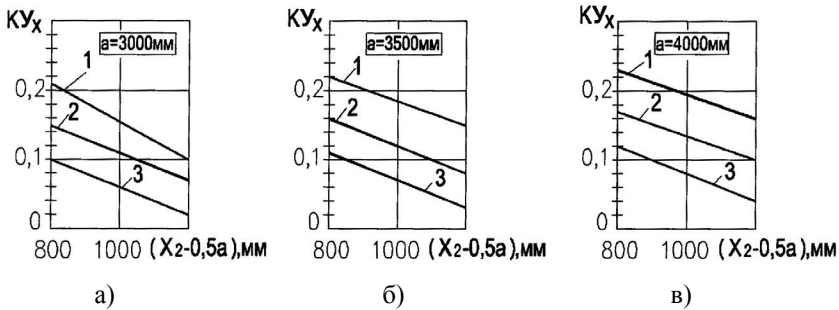


Рис.3. Характер изменения коэффициента устойчивости УВФ при различных значениях основных конструктивных параметров и технологической нагрузке. а, б и в – при ширине колеи рельсового пути 3000, 3500 и 4000 мм; кривые 1,2 и 3 –изменение коэффициента устойчивости УВФ при величине технологической нагрузки равной 5,0; 10,0 и 15,0 т соответственно

Увеличение коэффициента устойчивости KU_x достигается также минимизацией значений координат x_2 и x_6 , определяемых конструктивно после выбора размера x_5 , и величиной веса технологического оборудования G_2 , G_5 и G_6 . Вес оборудования определяется из условия обеспечения коэффициента запаса прочности его основных деталей и узлов в соответствии с нормативами, принятыми в машиностроении, и при использовании качественных материалов. Выполнение этих требований обеспечит минимальный вес оборудования.

Анализ полученных результатов показывает, что принципиальной особенностью исследуемого устройства ввода фурм в расплав, представляющего собой объемную металлоконструкцию высотой около 11,0 метров, является то, что, при собственной массе около 40,0 тонн, и ширине колеи рельсового пути 4,0 м, величина коэффициента устойчивости KU_x в статическом положении не превышает 0,35. Это является показателем того, что даже в статическом положении УВФ обладает невысокой устой-

чивостью в плоскости $x-z$, которая еще больше уменьшится при погружении фурмы на глубину до 2–х метров и подъеме её с этой глубины, а также при продувке жидкого чугуна.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали [4,5], что технологическая нагрузка, воспринимаемая фурмой при продувке, имеет динамический характер и достигает 90 кН при изменении частоты колебаний от 3,0 до 5,0 Гц. Максимальные значения усилий, воспринимаемых фурмой, наблюдаются во время начала её подъема и достигают 120–150 кН [3], поэтому при дальнейших исследованиях оценку влияния технологической нагрузки на устойчивость УВФ будем производить, изменяя её значения в диапазоне от 0 до 150 кН с интервалом в 50 кН при изменяющихся конструктивных параметрах консольной части УВФ и ширины колеи рельсового пути.

Анализ опорных реакций тележки при различных значениях технологической нагрузки показывает (табл.2), что величина опорных реакций в опорах A_2 и B_2 изменяется в интервале 180–260 кН, в то время как в опорах A_1 и B_1 они изменяются от 12 до 40 кН, то есть опоры A_2 и B_2 воспринимают 85–90% от всей нагрузки, действующей от УВФ на опоры тележки. Результаты определения значений коэффициентов устойчивости при различных значениях технологической нагрузки приведены в табл.2 и на рис.3. Изучение этих результатов показывает, что воздействие технологической нагрузки приводит к резкому уменьшению KU_x . Так, если при колее в 3,0 м и $P_T = 50$ кН. KU_x составляет 0,214, то при нагрузке 150 кН он уменьшается до 0,104. Увеличение колеи до 4,0 м приводит к росту KU_x до 0,224 и 0,126, соответственно. Эти коэффициенты устойчивости приведены для минимальных размеров консольной части металлоконструкции, когда $x_3=0,5a$. Увеличение x_3 на 400 мм при колее 4,0 м приводит к уменьшению KU_x до 0,160 и 0,063, соответственно.

Исследования показали, что действие технологической нагрузки резко ухудшает устойчивость УВФ в плоскости $x-z$, а, учитывая то, что усилия в гибких связях приводов фурменных устройств носят динамический характер, то в контактных парах колесо – рельс у опор A_1 и B_1 возможно появление зазоров и последующих ударов при их замыкании, что приведет к возникновению больших контактных напряжений, а также увеличивается опасность опрокидывания устройства при работе.

Указанные недостатки в УВФ нового поколения целесообразно устранять еще на стадии проектирования. Результаты исследования позволили определить эти пути. Для повышения устойчивости УВФ в плоскости $x-z$ в свободном состоянии необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- ширина колеи рельсового пути тележки (a) должна находиться в интервале между тремя и четырьмя метрами (лучше ближе к четырем);
- базовый конструктивный параметр, характеризующий габарит консольной части металлоконструкции, должен определяться условием, что $x_3=0,5a$;

– оборудование устройства, расположенное на различных уровнях, особенно на средней и верхней площадках, должно иметь минимальный вес;

– коэффициент устойчивости устройства в плоскости $x-z$ в свободном состоянии УВФ должен быть не менее 0,5.

Величина коэффициента устойчивости УВФ в свободном состоянии 0,5 и более может быть достигнута путем дополнительной установки специальных уравновешивающих контргрузов (УКГ), величина массы которых регулируется в зависимости от величины KU_x . Располагать эти грузы наиболее удобно и рационально с наружной стороны УВФ на консольной площадке, расположенной вдоль опор A_1 и B_1 на уровне нижней рабочей площадки (рис.1,а). С целью обеспечения возможности регулирования степени устойчивости УВФ путем изменения веса УКГ его нужно выполнить составным. Минимальная величина веса УКГ должна обеспечивать коэффициент устойчивости равный не менее 0,5 в свободном состоянии устройства.

Проведенные исследования показали, что для УКГ весом 5,0, 10,0 и 15,0 т коэффициент устойчивости УВФ составляет 0,47; 0,68 и 0,88, соответственно. Таким образом, для вновь проектируемых УВФ массу контргруза можно закладывать равной 6,0т. Наличие такого УКГ обеспечивает коэффициент устойчивости равный 0,51.

Для повышения устойчивости УВФ, во время погружения фурмы в расплав, извлечения её из него, а также при продувке, это устройство можно дополнительно жестко фиксировать к рельсам со стороны опор A_1 и B_1 . Фиксация УВФ к рельсам может осуществляться специальными захватами, например, клиновыми с электромагнитным приводом.

Устойчивость УВФ в плоскости $y-z$ оценивается статической и динамической составляющими. Учитывая симметричность расположения оборудования относительно оси y , коэффициент устойчивости KU_y в статическом положении составляет 0,95, что свидетельствует о высокой статической устойчивости устройства в плоскости $y-z$.

Оценка влияния динамической составляющей, действующей на УВФ при его движении, необходима для выбора безопасной скорости движения, а также режимов разгона и торможения, обеспечивающих надежную устойчивость УВФ в плоскости $y-z$.

При перемещении УВФ между крайними положениями возможно несколько вариантов изменения скорости, которые на рис.4.,а представлены семейством кривых 1–4. Кривая 1 – разгон УВФ осуществляется до установившейся скорости (участок 0–1), движение с установившейся скоростью (участок 1–2), торможение до остановки (участок 2–3). Разгон и торможение в этом случае могут осуществляться с одинаковой или различной степенью интенсивности. Кривая 2 – разгон до максимальной скорости (участок 0–1') и затем торможение до полной остановки (участок 1'–2'). Участок движения с установившейся скоростью отсутствует. Разгон и

торможение происходят с одинаковой степенью интенсивности. Кривые 3 и 4 – разгон до максимальной скорости и последующее торможение до полной остановки осуществляются с различной интенсивностью, участок движения с постоянной скоростью отсутствует.

Результаты определения основных расчетных параметров приведены в табл.3. Сравнительный анализ приведенных результатов показывает, что наиболее предпочтительным является вариант, представленный кривой 2 на рис.4,а, так как он обеспечивает достижение максимальной скорости передвижения при разгоне и последующем торможении с одинаковым минимальным ускорением.

Таблица 3. Основные расчетные параметры

№ п	Наименование параметра, размерность	Величина параметра								
		1	Скорость передвижения устройства	м/мин			20,0			30,0
м/сек				0,33			0,50			
2	Величина хода, мин	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500
3	Время движения, с	8,8	11,8	14,6	4,6	6,2	7,6	3,0	4,0	5,0
4	Время разгона, с	4,4	5,9	7,3	2,3	3,1	3,8	1,5	2,0	2,5
5	Время торможения, с	4,4	5,9	7,3	2,3	3,1	3,8	1,5	2,0	2,5
6	Ускорение, в м/сек ²	0,038	0,028	0,023	0,144	0,108	0,088	0,332	0,250	0,20

Зная ускорение, определим суммарный опрокидывающий момент от этих сил ($\sum M_{ин}^y$), действующий в плоскости $y-z$. Абсолютные значения сил инерции приведенных масс, действующие на устройство при движении в зависимости от скорости движения и величины хода приведены в табл.4, а суммарного опрокидывающего момента от этих сил на рис.4, б.

Анализ кривых, приведенных на рис.4, б, показывает, что наибольшее значение опрокидывающего момента, равное 37,7 кН, наблюдается при величине хода УВФ равной 1,5 м и скорости передвижения устройства 30,0 м/мин (кривая 3). Увеличение хода до 2,5 м при той же скорости передвижения приводит к уменьшению опрокидывающего момента до 22,7 кН. На рис.4,в представлены кривые 1–3, показывающие как изменяется KY_y в зависимости от конструктивных и кинематических параметров устройства.

Оценивая влияние инерционной составляющей нагрузки на устойчивость устройства в плоскости $y-z$, необходимо отметить, что величина коэффициента KY_y зависит от такого фактора как величина опрокидывающего момента от сил инерции, зависящего от высоты устройства. Анализируя кривые 1–3, представленные на рис.4,в, необходимо отметить, что величина коэффициента KY_y изменяется от 0,92 до 0,84. Оценивая влияние инерционных нагрузок на устойчивость устройства в плоскости $y-z$, видим, что, если в статическом положении УВФ величина KY_y

составляет 0,95, то при наличии динамических нагрузок он снижается до 0,84. Инерционные нагрузки, хотя и приводят к уменьшению абсолютной величины KU_y , но его уменьшение до 0,84 сохраняет устойчивость устройства в этой плоскости достаточно высокой.

Таблица 4. Значение сил инерции приведенных масс устройства

№ пп	Наименование параметра, обозначение, размерность		Значения сил инерции в кг									
			1	2	3	4	5	6	7			
1	Порядковый номер массы											
2	Величина массы (т) в кг·сек ² /м		920	230	70	340	320	180	800			
3	Плечо действия силы инерции (Z) в м		4,75	4,30	0,95	5,25	5,70	9,80	0,70			
4	Ход устройства (с) в мм	Ускорение масс, в м/сек ²	1500	0,038	35,0	8,8	2,6	13,0	12,2	6,8	30,4	
5			2000	0,028	26,0	6,4	2,0	9,6	9,0	5,0	22,4	
6			2500	0,023	22,0	5,6	1,6	8,2	7,6	4,4	19,2	
7			1500	0,144	132,4	33,2	10,1	49,0	46,0	26,0	115,2	
8			2000	0,108	99,4	24,8	7,6	36,8	34,6	19,4	86,4	
9			2500	0,088	81,0	20,2	3,1	30,0	28,2	15,8	70,4	
10			1500	0,332	305,4	76,4	23,2	112,8	106,2	60,0	265,6	
11			2000	0,250	230,0	57,6	17,6	85,0	80,0	45,0	200,0	
12			2500	0,20	184,0	46,0	14,0	68,0	64,0	36,0	160,0	

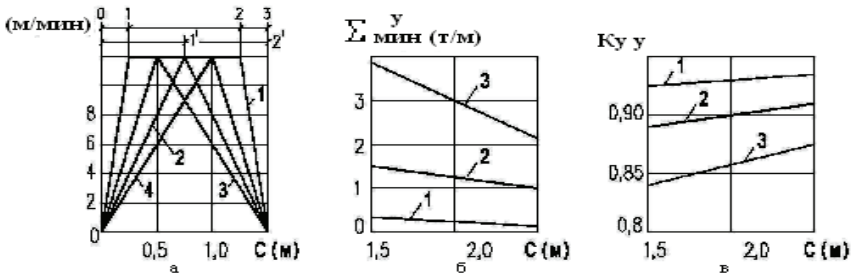


Рис.4. Характер изменения основных конструктивных и кинематических параметров устройства ввода фурм:

а – варианты изменения скорости движения: кривые 1–4 – семейство кривых при различных скоростях движения; б – значения опрокидывающего момента: кривые 1–3 – величина и характер изменения опрокидывающего момента при скорости 10, 20 и 30 м/мин, соответственно; в – характер изменения коэффициента KU_y : кривые 1–3 – при различной величине хода и скоростях 10, 20 и 30 м/мин, соответственно.

Обобщая влияние динамической составляющей, действующей на устройство при его движении, необходимо отметить, что опрокидывающий момент от инерционных нагрузок не оказывает существенного влияния на устойчивость устройства, поэтому исследуемые скорости движения от 10,0 до 30,0 м/мин могут использоваться при проектировании современных устройств ввода фурм в расплав.

Исследования предложенной конструкции УВФ позволили сформулировать основные требования и определить исходные конструктивные и кинематические параметры, необходимые для его проектирования, в следующем виде:

- высота установки (L) 10500÷11500 мм;
- ширина колеи рельсового пути (a) 3000÷4000 мм;
- база тележки (b) 3500÷4500 мм;
- скорость передвижения (V) 10, ÷30,0 м/мин;
- коэффициенты устойчивости устройства (KU_x, KU_y) не ниже 0,5;
- конструктивные параметры, характеризующие величину консоли: $x_3=0,5a, x_6=0,5a+400$ мм, $x_2=0,5a+800$ мм;
- необходим уравнивающий контргруз весом не менее 6000 кг.

Результаты исследования.

Разработанная конструкция УВФ, отвечающая вышеупомянутым требованиям, приведена на рис.5. Она представляет собой объемную подвижную массивную металлоконструкцию с технологическим оборудованием общим весом более 40,0 т и высотой около 11,0 м. Устройство оборудовано двумя вертикальными консольно установленными колоннами коробчатого типа с направляющими брусками и каретками, на которых закрепляются фурменные устройства. Электроприводы кареток расположены на средней рабочей площадке, на нижней – установлен привод передвижения устройства, а на верхней – проботборник, устройство для замера температуры и узлы механизма привода фурменного устройства.

Устройство нового поколения ввода фурм в расплав, рекомендуемое для широкого практического использования, имеет следующую техническую характеристику: высота – 11495 мм; ширина колеи рельсового пути – 3200 мм; база тележки – 3900 мм; величина хода – 1700 мм; скорость передвижения – 0÷10 м/мин; коэффициент устойчивости минимальный – 0,51; минимальный вес уравнивающего контргруза – 6000 кг; количество устанавливаемых фурменных устройств – 2; конструктивные параметры консоли: $x_3=1600, x_6=2000$ мм, $x_2=2425$ мм; общая масса в рабочем состоянии – 42245 кг.

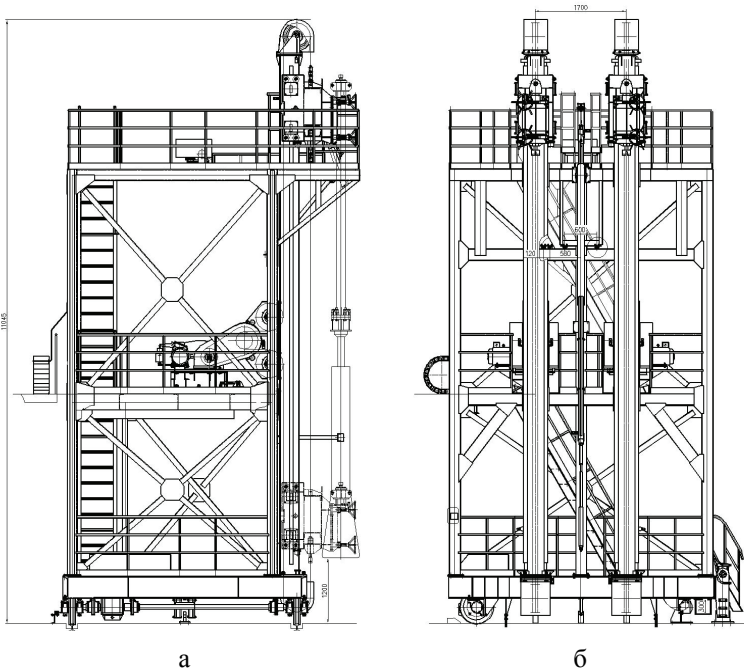


Рис.5. Устройство ввода форм в жидкий чугун: а – профильная проекция; в – фронтальная проекция

1. *Особенности силового нагружения форм с испарительными камерами, используемых для десульфурации чугуна* / В.И.Большаков, А.М. Башмаков, А.Ф. Шевченко и др. // *Фундаментальные и прикладные проблемы металлургии*. Вып..11. Сб. тр. ИЧМ. – 2005. – С.254–263.
2. *Технологические нагрузки, действующие на форму при десульфурации чугуна магнием* / А.М. Башмаков, В.И. Большаков, А.Ф. Шевченко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 3. – С.11–15.
3. *Башмаков А.М.* Совершенствование методов расчета, конструирование и внедрение механического оборудования установок десульфурации чугуна. Автореф. дисс.кандидата техн. наук, Нац. метал. академия Украины. Днепропетровск, 2008. – 22 с.
4. *Совершенствование оборудования отделений десульфурации чугуна с погружаемыми формами* / А.Г.Бондаренко, А.Ф. Шевченко, Н.П. Остапчук и др. // *Металлург*. – 1983. – № 3. – С.17–20.
5. *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
чл.-корр.НАН Украины В.И.Большаковым*