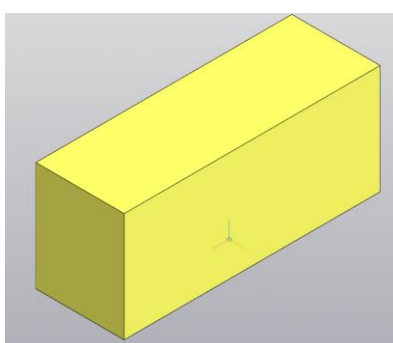


Футеровка	
Заданные параметры	
Заданная плотность тел	$Rou = 0.002100 \text{ г/мм}^3$
Материал тел	Фторопласт-4 ГОСТ 10007-80 E
Плотность материала тел	$Ro = 0.002200 \text{ г/мм}^3$
Расчетные параметры(тела и компоненты)	
Масса	$M = 19515384.000000 \text{ г}$
Площадь	$S = 95714400.000000 \text{ мм}^2$
Объем	$V = 9293040000.000000 \text{ мм}^3$
Центр масс	$Xc = 21.413427 \text{ мм}$
	$Yc = 15.291524 \text{ мм}$
	$Zc = 1277.745409 \text{ мм}$

Рисунок 2 – Модель футеровки с МЦХ

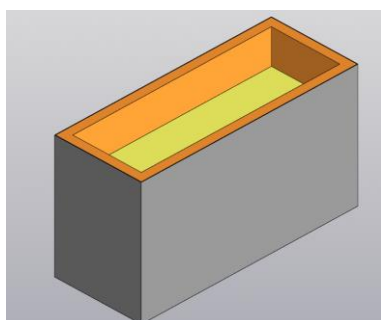
Определяющими размерами для расплава являются размеры футеровки. Исходя из этих размеров, создается модель расплава методом, аналогичным методу построения модели футеровки. При выдавливании в параметре "Тонкая стенка" выбираем "Нет".



Расплав	
Заданные параметры	
Материал тел	Зл 99,99 ГОСТ 6835-2002
Плотность материала тел	$Ro = 0.019300 \text{ г/мм}^3$
Расчетные параметры(тела и компоненты)	
Масса	$M = 272760901.560000 \text{ г}$
Площадь	$S = 38533760.000000 \text{ мм}^2$
Объем	$V = 14132689200.000000 \text{ мм}^3$
Центр масс	$Xc = 206.268029 \text{ мм}$
	$Yc = -173.311116 \text{ мм}$
	$Zc = 976.500000 \text{ мм}$

Рисунок 3 – Модель расплава с МЦХ

Создаем сборку из трех компонентов. После сборки проверяем параметры МЦХ. Окончательные параметры ковша с расплавом будут выглядеть следующим образом:



Сборка	
Масса	$M = 296341011.383916 \text{ г}$
Площадь	$S = 237868959.999993 \text{ мм}^2$
Объем	$V = 23943133199.995651 \text{ мм}^3$
Центр масс	$Xc = 0.000000 \text{ мм}$
	$Yc = 0.000000 \text{ мм}$
	$Zc = 0.000000 \text{ мм}$

Рисунок 4 – Модель сборки с МЦХ

По результатам построений и после анализа таких параметров расплава, как "угол" и "высота", было установлено, что необходимо поворачивать сосуд на 90° , чтобы расплав вытек полностью [1].

Расчет опрокидывающих моментов:

Для расчета опрокидывающих моментов, все снятые данные вводятся в таблицу Excel (Таблица 2, первые 5 столбцов) [2].

Далее вводим столбцы с координатами точки поворота (Таблица 2, следующие 3 столбца).

Далее вычисляем для каждого положения значения:

M_{on} – общий статический момент;



$$M_{on} = M_n + M_m + M_{mp} \quad (1)$$

M_n – момент, необходимый для поворота порожнего сосуда (равен нулю, при нулевом значении коэффициента смещения);

$$M_n = G_0 \cdot r_0 \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

M_m – момент от веса жидкого металла;

$$M_m = Q_i \cdot l_\varphi \quad (3)$$

M_{mp} – момент от сил трения в опорах сосуда;

$$M_{mp} = (G_0 + Q_i) \cdot f \cdot r_\varphi \quad (4)$$

l_φ – плечо действия силы Q_i относительно оси вращения.

$N_{дв}$ – мощность двигателя привода

$$N_{дв} = M_{on\ max} \cdot \frac{\omega}{\eta} \quad (5)$$

Выше на 0,5	Zпол	Uпол	Vпол	Mпол	y1пор	y2пор	R	Ус	Ижид	Мжид	Гжид	Мпор	Гпор	Мтр	Мм	Мп	Моп	N	
0	0	0,5	23,9	296340	0	0,5	0	0	0	272760	2675776	23580	231320	889,02	0	0	889,02		
10	-0,103	0,712	22,9	276886	0,219	0,719	0,5	0,68	0,68	253306	2484932	23580	231320	830,658	1689754	20084,1	1710668,454		
20	-0,242	0,897	21,86	256182	0,428	0,928	0,5	0,84	0,84	232602	2281826	23580	231320	768,546	1916734	39558	1957060,082		
30	-0,415	1,051	20,6	232639	0,621	1,121	0,5	0,978	0,978	209059	2050869	23580	231320	697,917	2005750	57830	2064277,544		
40	-0,619	1,175	19,1	203760	0,79	1,29	0,5	1,095	1,095	180180	1767566	23580	231320	611,28	1935485	74344,8	2010440,582		
50	-0,857	1,296	17,1	164850	0,932	1,432	0,5	1,218	1,218	141270	1385859	23580	231320	494,55	1687976	88600,6	1777071,07		
60	-1,094	1,406	14,85	120907	1,042	1,542	0,5	1,357	1,357	97327	954778	23580	231320	362,721	1295634	100164	1396160,702		
70	-1,303	1,455	12,9	84936	1,117	1,617	0,5	1,414	1,414	61356	601902	23580	231320	254,808	851090	106865	960029,4996		
80	-1,447	1,481	11,35	53304	1,153	1,653	0,5	1,401	1,401	29724	291592	23580	231320	159,912	408521	113903	52583,6867		
90	-1,317	1,651	9,8	23580	1,151	1,651	0,5	0	0	0	0	23580	231320	70,74	0	115660	115730,64		
град	м	м	м	Кг	к	м	м	м	м	Кг	Н	Нм	Н	Нм	Нм	Нм	Нм	Вт	
						0,5											Max	2064277,544	410395

ось	Zпол	Uпол	Vпол	Mпол	y1пор	y2пор	R	Ус	Ижид	Мжид	Гжид	Мпор	Гпор	Мтр	Мм	Мп	Моп	N	f	г	
0	0	0	23,9	296341	0	0	0	0	0	272760	2675776	23580	231320	889,02	0	0	889,02				
10	-0,103	0,212	22,9	276886	0,219	0,219	0	0,18	0,18	253306	2484932	23580	231320	830,658	447288	0	448118,3928		0,02	0,15	
20	-0,242	0,397	21,86	256182	0,428	0,428	0	0,34	0,34	232602	2281826	23580	231320	768,546	775821	0	776589,2568				
30	-0,415	0,551	20,6	232639	0,621	0,621	0	0,478	0,478	209059	2050869	23580	231320	697,917	980315	0	981013,1986				
40	-0,619	0,675	19,1	203760	0,79	0,79	0	0,595	0,595	180180	1767566	23580	231320	611,28	1051702	0	1052312,931				
50	-0,857	0,796	17,1	164850	0,932	0,932	0	0,718	0,718	141270	1385859	23580	231320	494,55	995047	0	995541,0966				
60	-1,094	0,906	14,85	120907	1,042	1,042	0	0,857	0,857	97327	954778	23580	231320	362,721	818245	0	818607,3556				
70	-1,303	0,955	12,9	84936	1,117	1,117	0	0,914	0,914	61356	601902	23580	231320	254,808	550139	0	550393,565				
80	-1,447	0,981	11,35	53304	1,153	1,153	0	0,901	0,901	29724	291592	23580	231320	159,912	262725	0	262884,7004				
90	-1,317	1,151	9,8	23580	1,151	1,151	0	0	0	0	0	23580	231320	70,74	0	0	70,74				
град	м	м	м	Кг	к	м	м	м	м	Кг	Н	Нм	Н	Нм	Нм	Нм	Нм	Вт			
						0											Max	1052312,931	209208		

ниже на 0,5	Zпол	Uпол	Vпол	Mпол	y1пор	y2пор	R	Ус	Ижид	Мжид	Гжид	Мпор	Гпор	Мтр	Мм	Мп	Моп	N	
0	0	-0,5	23,9	296340	0	-0,5	0	0	0	272760	2675776	23580	231320	889,02	0	0	889,02	0	
10	-0,103	-0,288	22,9	276886	0,219	-0,281	0,5	-0,32	-0,32	253306	2484932	23580	231320	830,658	-795178	20084,1	-774263,4063	10	
20	-0,242	-0,103	21,86	256182	0,428	-0,072	0,5	-0,16	-0,16	232602	2281826	23580	231320	768,546	-365092	39558	-324765,5376	20	
30	-0,415	0,051	20,6	232639	0,621	0,121	0,5	-0,022	-0,022	209059	2050869	23580	231320	697,917	-45119	57830	13408,75362	30	
40	-0,619	0,175	19,1	203760	0,79	0,29	0,5	0,095	0,095	180180	1767566	23580	231320	611,28	167919	74344,8	242874,7817	40	
50	-0,857	0,296	17,1	164850	0,932	0,432	0,5	0,218	0,218	141270	1385859	23580	231320	494,55	302117	88600,6	391212,3703	50	
60	-1,094	0,406	14,85	120907	1,042	0,542	0,5	0,357	0,357	97327	954778	23580	231320	362,721	340856	100164	441382,8322	60	
70	-1,303	0,455	12,9	84936	1,117	0,617	0,5	0,414	0,414	61356	601902	23580	231320	254,808	249188	106865	358127,1396	70	
80	-1,447	0,481	11,35	53304	1,153	0,653	0,5	0,401	0,401	29724	291592	23580	231320	159,912	116929	113903	230991,2467	80	
90	-1,317	0,651	9,8	23580	1,151	0,651	0,5	0	0	0	0	23580	231320	70,74	0	115660	115730,64	90	
град	м	м	м	Кг	к	м	м	м	м	Кг	Н	Нм	Н	Нм	Нм	Нм	Нм	Вт	
						-0,5											Max	441382,8322	87750,5

Рисунок 5 – Расчеты опрокидывающих моментов

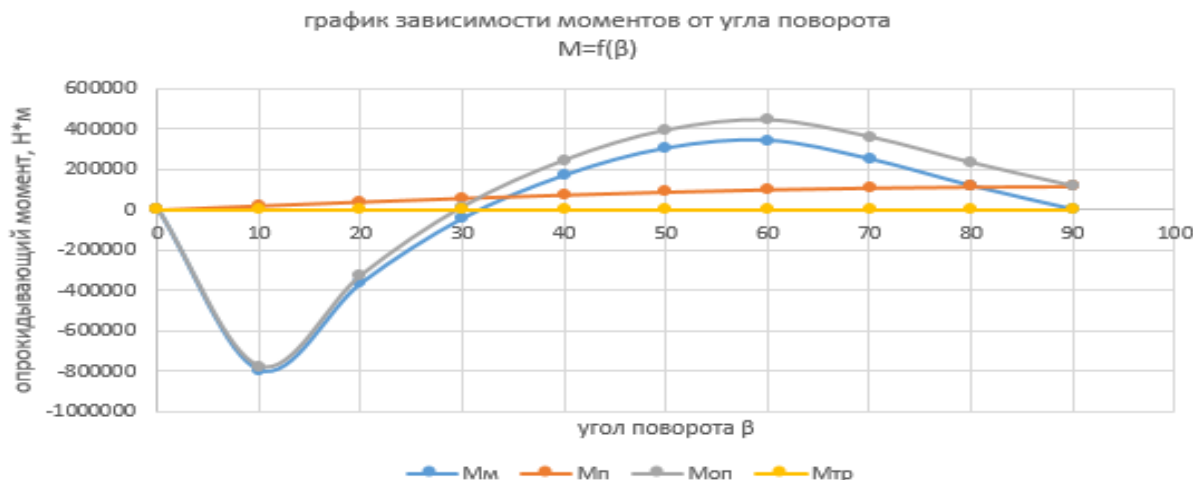


Рисунок 6 – График зависимости моментов от угла поворота



Расчет привода для поворота ковша (ось вращения не смещена относительно центра масс):

Мощность двигателя:

$$N = \frac{M_{on(max)} \cdot \pi \cdot n}{30 \cdot \eta}; \quad (6)$$
$$N = \frac{1052312,931 \cdot 3,14 \cdot 1,7}{30 \cdot 0,895} = 209 \text{ кВт}.$$

Вывод: в ходе данной работы были спроектированы модели корпуса, футеровки и расплава. Определено, что угол, на который необходимо повернуть ковш для полного истечения расплава, равен 90°. Был осуществлен расчет опрокидывающих моментов и построены графики зависимости моментов от угла поворота. Рассматривалось 2 положения оси вращения сосуда ниже и выше относительно центра масс порожнего сосуда на 500 мм.

Установлена максимальная мощность привода для преодоления угла поворота примерно 40°. Она равна 209 кВт. Следовательно, необходимо подобрать двигатель с мощностью, равной либо больше полученной. В нашем случае это двигатель ЯМЗ 236БИ с мощностью 209 кВт.

Список литературы:

1. В.М. Гребеник, Ф.К. Иванченко, В.И. Ширяев, Расчет металлургических машин и механизмов – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 448 с.
2. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ. Расчет сосудов с жидким металлом: Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: С.Л. Иванов, И.Е. Звонарев, А.В. Михайлов. СПб, 2021. 27 с.

