

**ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ВХОДНОГО КЛАПАНА НА ДИНАМИКУ ЗАПОЛНЕНИЯ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЕМКостей ДЕСУБЛИМИРОВАННЫМ UF<sub>6</sub>**

А.А. Котельникова, Р.В. Малогин

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Орлов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aak135@bk.ru](mailto:aak135@bk.ru)

**THE INFLUENCE OF THE DIAMETER OF THE INLET VALVE ON THE DYNAMICS OF FILLING  
OF VERTICAL IMMERSION TANKS DESUBLIMATION UF<sub>6</sub>**

A.A. Kotelnikova, R.V. Malyugin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Orlov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [aak135@bk.ru](mailto:aak135@bk.ru)

**Abstract.** To determine the possibility of increasing the efficiency of the process of desublimation of gaseous UF<sub>6</sub> at separation plants and to study the effect on the average performance of various factors has been developed a simplified three-dimensional mathematical model of the non-stationary process of desublimation of UF<sub>6</sub>.

**Введение.** После замены газодиффузионного метода более эффективным и экономичным газоцентрифужным оборудованием технология десублимации UF<sub>6</sub> практически не изменилась. Поэтому приобретают актуальность работы, направленные на исследование влияния факторов, способных влиять на эффективность процесса десублимации: параметров, задающих режим процесса десублимации и геометрии емкости. Для определения возможности повышения эффективности процесса десублимация газообразного UF<sub>6</sub> на разделительных предприятиях и исследования влияния на среднюю производительность емкостей различных факторов разработана упрощенная трехмерная математическая модель нестационарного процесса десублимации UF<sub>6</sub> [1].

**Экспериментальная часть.** В данной работе представлено исследование влияния диаметра входного клапана на динамику заполнения вертикальных емкостей с гладкими внутренними стенками. Расчет средней производительности проведен для емкостей объемом 1.0 м<sup>3</sup>, 2.0 м<sup>3</sup>, 2.5 м<sup>3</sup>, 3.0 м<sup>3</sup> и 4.0 м<sup>3</sup>. Расчет заполнения емкостей до 70% их объема проводили при изменении диаметра входного клапана  $d_{in}$  от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $60 \cdot 10^{-3}$  м, температуре газообразного UF<sub>6</sub> 30°C, рабочем давлении в коллекторе 80 мм рт. ст., температуре хладагента (насыщенного раствора CaCl<sub>2</sub>) минус 25°C.

Давление в коллекторе выше 80 мм рт. ст. не рассматривалось, так как при дальнейшем повышении давления для предотвращения десублимации газообразного UF<sub>6</sub> в трубах коллектора требуется осуществлять их подогрев. Дальнейшее понижение температуры хладагента также не желательно, поскольку это приведет к значительному увеличению его вязкости.

**Результаты.** Получены зависимости средней производительности емкостей объемом 1.0 м<sup>3</sup>, 2.0 м<sup>3</sup>, 2.5 м<sup>3</sup>, 3.0 м<sup>3</sup> и 4.0 м<sup>3</sup>. В таблице 1 представлены результаты расчета динамики заполнения емкостей десублимированным UF<sub>6</sub> при значениях  $d_{in}$  от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $60 \cdot 10^{-3}$  м с шагом  $5 \cdot 10^{-3}$  м.

Таблица 1

Средняя производительность емкостей десублимированным UF<sub>6</sub> при изменении диаметра входного клапана

V <sub>емк</sub>	1,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	5	10	15	20	25	30
		t, час	1254,67	586,72	434,22	375,53	347,67	332,28
		M, кг	3445,50	3445,50	3445,50	3445,50	3445,40	3445,50
		q, г/с	0,7628	1,6312	2,2041	2,5486	2,7528	2,8804
	2,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	5	10	15	20	25	30
		t, час	2213,08	889,06	643,81	539,89	488,44	455,53
		M, кг	6937,10	6937,10	6937,10	6937,10	6937,10	6937,10
		q, г/с	0,8707	2,1674	2,9931	3,5692	3,9451	4,2302
	2,5 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	5	10	15	20	25	30
		t, час	2736,08	1000,00	726,64	602,81	540,53	506,22
		M, кг	8692,80	8595,00	8692,80	8692,70	8692,80	8692,70
		q, г/с	0,8825	2,3875	3,3231	4,0057	4,4672	4,7699
	3,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	5	10	15	20	25	30
		t, час	3294,72	1186,61	815,86	669,31	595,72	555,31
		M, кг	10446,00	10446,00	10445,00	10446,00	10445,00	10445,00
		q, г/с	0,8807	2,4453	3,5562	4,3353	4,8704	5,2249
	4,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	5	10	15	20	25	30
		t, час	4403,61	1427,11	957,67	780,44	686,14	633,92
		M, кг	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00
		q, г/с	0,8804	2,7166	4,0483	4,9676	5,6504	6,1159

Продолжение таблицы 1

V <sub>емк</sub>	1,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	35	40	45	50	55	60
		t, час	322,86	316,69	312,47	309,44	307,19	305,50
		M, кг	3445,50	3445,40	3445,50	3445,50	3445,50	3445,50
		q, г/с	2,9644	3,0220	3,0629	3,0929	3,1156	3,1328
	2,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	35	40	45	50	55	60
		t, час	438,33	427,06	419,28	413,69	409,53	406,36
		M, кг	6937,10	6937,10	6937,00	6937,10	6937,10	6937,00
		q, г/с	4,3961	4,5122	4,5959	4,6580	4,7054	4,7420
	2,5 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	35	40	45	50	55	60
		t, час	485,33	471,67	462,25	455,47	450,42	446,56
		M, кг	8692,80	8692,70	8692,70	8692,80	8692,70	8692,70
		q, г/с	4,9753	5,1194	5,2237	5,3015	5,3609	5,4073
	3,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	35	40	45	50	55	60
		t, час	530,75	514,72	503,64	495,67	489,75	485,22
		M, кг	10445,00	10445,00	10445,00	10445,00	10446,00	10446,00
		q, г/с	5,4666	5,6368	5,7609	5,8535	5,9248	5,9801
	4,0 м <sup>3</sup>	d <sub>ин</sub> , 10 <sup>-3</sup> м	35	40	45	50	55	60
		t, час	602,17	581,44	567,14	556,86	549,22	543,39
		M, кг	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00	13957,00
		q, г/с	6,4383	6,6678	6,8360	6,9621	7,0590	7,1348

Показано, что время заполнения емкости объемом 1.0 м<sup>3</sup> при увеличении d<sub>ин</sub> клапана от 5·10<sup>-3</sup> до 60·10<sup>-3</sup> м составляет 1254.67, 586.72, 434.22, 375.53, 347.67, 332.28, 322.86, 316.69, 312.47, 309.44, 307.19 и 305.50 часа соответственно. Увеличение массы десублимата в емкости происходит нелинейно, что согласуется с теорией протекания нестационарных процессов (рис. 1). Однако, при d<sub>ин</sub>=5·10<sup>-3</sup> м емкости объемом 1.0 м<sup>3</sup> на участке от 0 до 605 часов происходит линейное увеличение средней производительности емкости. Это объясняется тем, что максимальная скорость подвода газообразного UF<sub>6</sub> внутрь емкости ограничена малым диаметром входного клапана. Дальнейшее заполнение емкости

приводит к уменьшению скорости десублимации внутрь емкости. Следовательно, дальнейшее увеличение массы десублимата в емкость происходит по нелинейному закону.

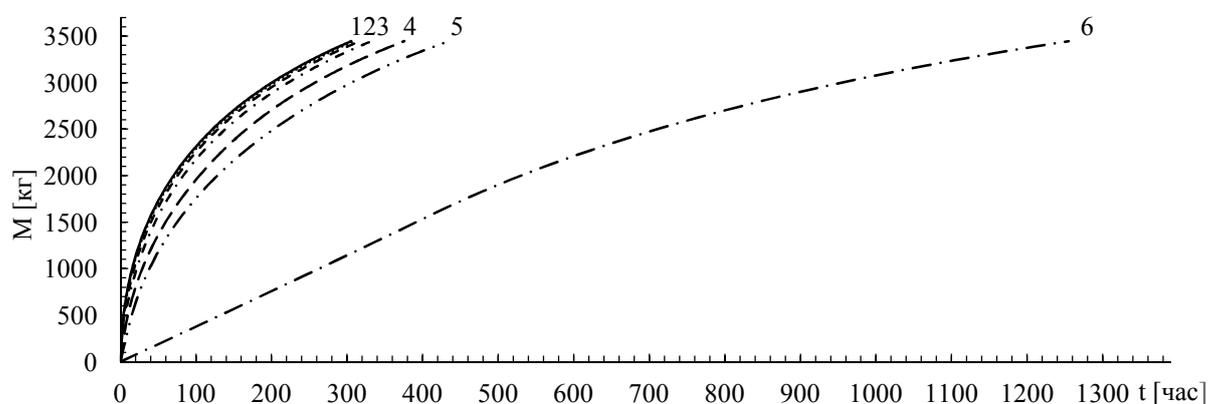


Рис. 1. Динамика заполнения емкости объемом  $1.0 \text{ м}^3$  при изменении диаметра входного клапана:

1 –  $d=0,050 \text{ мм}$ ; 2 –  $d=0,040 \text{ мм}$ ; 3 –  $d=0,030 \text{ мм}$ ;  
4 –  $d=0,020 \text{ мм}$ ; 5 –  $d=0,010 \text{ мм}$ ; 6 –  $d=0,005 \text{ мм}$

Расчеты показали, что уменьшение диаметра входного клапана приводит к нелинейному уменьшению средней производительности емкостей (рис. 2).

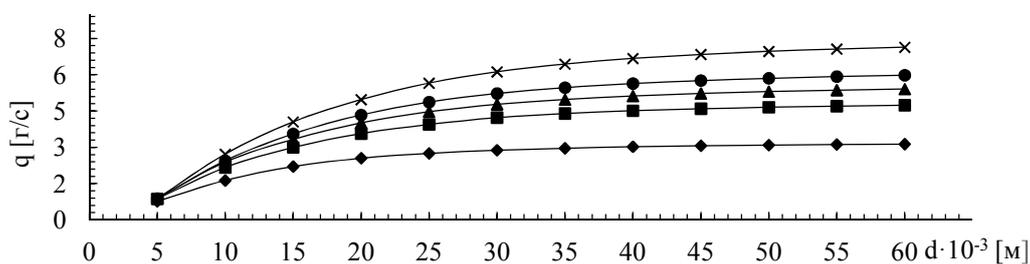


Рис. 2. Зависимость средней производительности емкостей объемом:

◆ -  $1.0 \text{ м}^3$ , ■ -  $2.0 \text{ м}^3$ , ▲ -  $2.5 \text{ м}^3$ , ● -  $3.0 \text{ м}^3$ , × -  $4.0 \text{ м}^3$

с гладкими внутренними стенками от диаметра входного клапана от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

**Заключение.** В результате проведенного исследования показано, что при уменьшении диаметра входного клапана от  $60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$ , температуре газообразного  $\text{UF}_6$   $30^\circ\text{C}$ , рабочем давлении в коллекторе  $80 \text{ мм рт. ст.}$ , температуре хладагента минус  $25^\circ\text{C}$  происходит уменьшение средней производительности емкостей объемом  $1.0 \text{ м}^3$ ,  $2.0 \text{ м}^3$ ,  $2.5 \text{ м}^3$ ,  $3.0 \text{ м}^3$  и  $4.0 \text{ м}^3$  на 76-88% из-за ограничения скорости десублимации газообразного  $\text{UF}_6$  внутрь емкости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov A.A., Tsimbalyuk A.F., Malyugin R.V., Glazunov A.A.. Dynamics of  $\text{UF}_6$  desublimation with the influence of tank geometry for various coolant temperatures // MATEC Web of Conferences. – 2016.- 72. - 01079.