

# ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАЩЕНИЯ С САО ОТ ЭКСТРАКЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

Костромин Константин Викторович

Мишина Н.Е., Рябков Д.В., Зильберман Б.Я. –  
АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»

Хомяков А.П. - Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России



СВЕРДНИИХИММАШ



атомэнергомаш  
ГРУППА КОМПАНИЙ РОСАТОМА

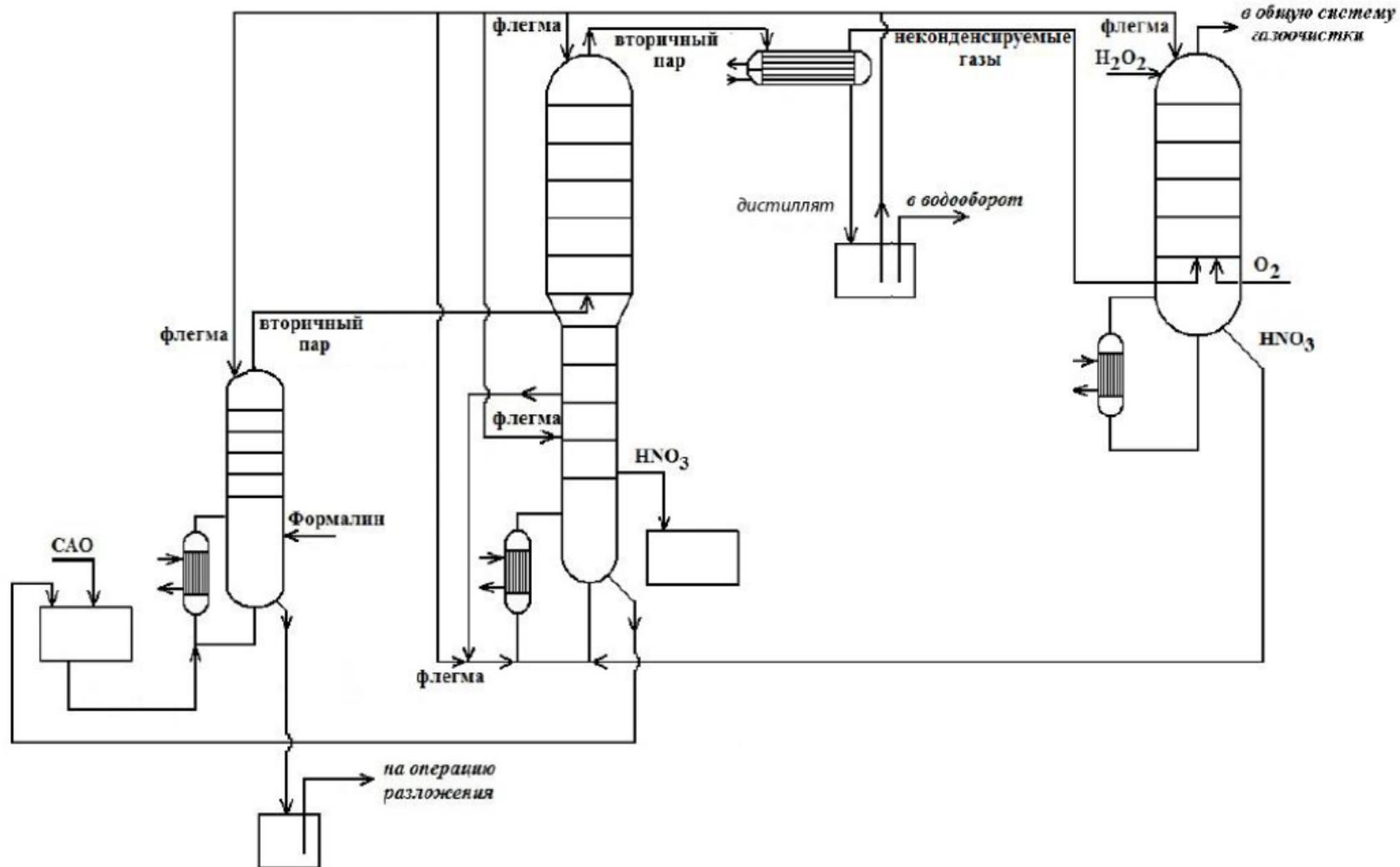


Рисунок 1 – Технологическая схема установки переработки CAO МП ПЯТЦ



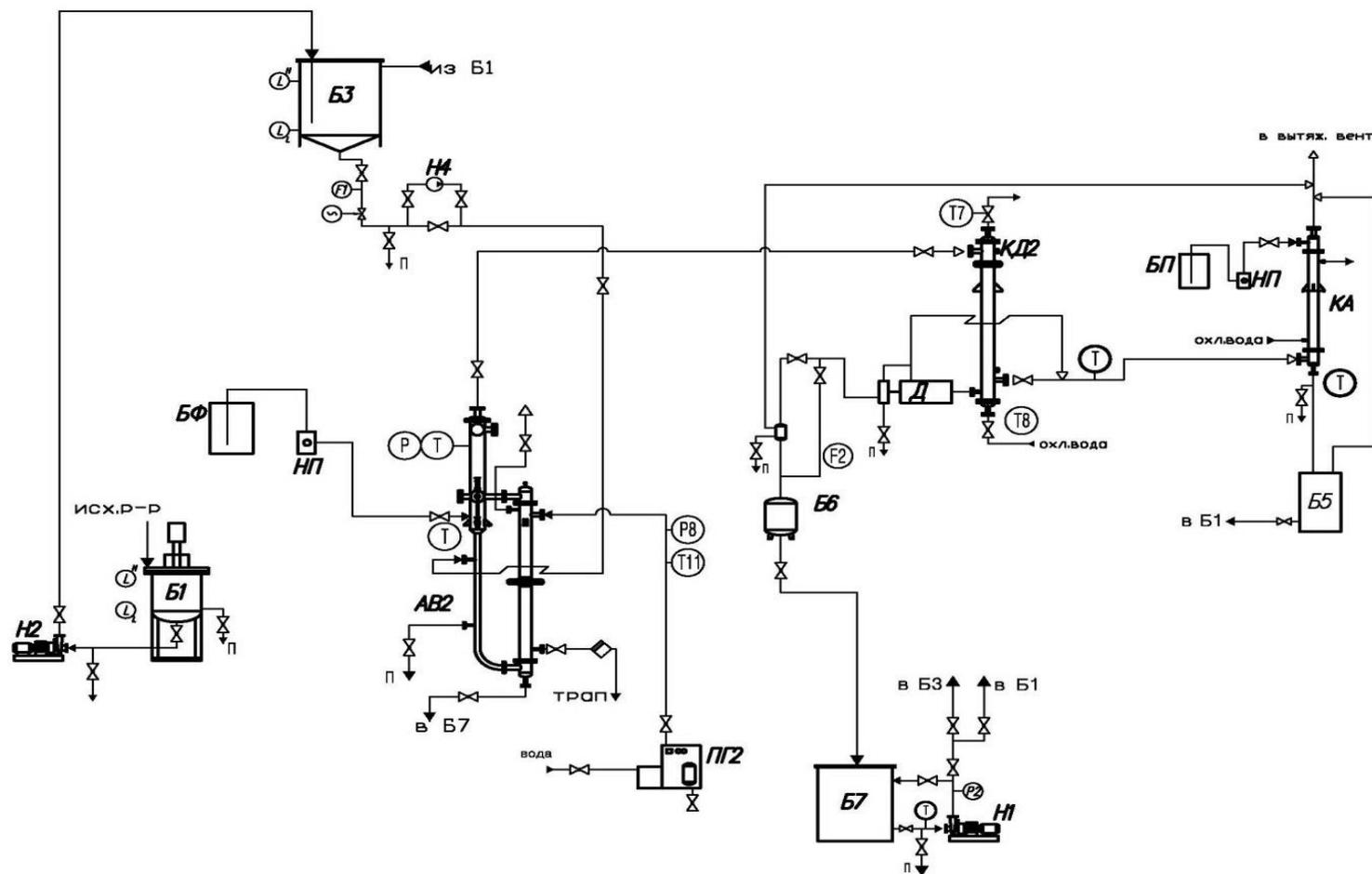
Процесс переработки САО МП ОДЭК включает следующие операции:

- подготовка раствора для упаривания;
- концентрирование (упаривание) среднеактивных растворов с частичным разложением нитрата аммония;
- регенерация азотной кислоты из вторичного пара выпарки ректификацией;
- конденсация вторичного пара ректификации;
- щелочное скруббирование уксусной кислоты из вторичного пара ректификации;
- автоклавное разложение нитрата аммония, ДТПА и других реагентов;



### Задачи на выпарном стенде АО «СвердНИИхиммаш»:

- принципиально проверить процесс денитрации азотной кислоты/нитрата аммония при упаривании растворов, имитирующих САО;
- подобрать оптимальные значения степени упаривания;
- определить оптимальные расходные коэффициенты денитрации раствора с целью увеличения степени упаривания;
- получить экспериментальные данные значений коэффициента теплопередачи и коэффициентов теплоотдачи.



AB2 – выпарной аппарат; КД2 – конденсатор; АБ – абсорбер; Б1- бак приготовления исходного раствора; Б3- напорный бак; Б7 – приемный бак; Б6 – бак дистиллята; Б5 – бак регенированной кислоты; БФ- емкость с формалином; БП – емкость пероксида азота; ПГ2 – электропарогенератор; Н1, Н2 – насосы для перекачивания раствора.

Рисунок 2 - Аппаратурно-технологическая схема опытной выпарной установки АО «СвердНИИхиммаш»

## Состав опытного выпарного стенда АО «СвердНИИхиммаш»:

Поле для текста и графики.

Желательно не выходить за пределы этого поля  
из эстетических соображений.



Выпарной аппарат



Процесс фазы активного газовыделения с  
подачей формалина в раствор при  
упаривании



Состав опытного выпарного стенда АО «СвердНИИхиммаш»:



Бак с мешалкой для приготовления исходного раствора Б1



Емкость формалина БФ, насос дозатор НД



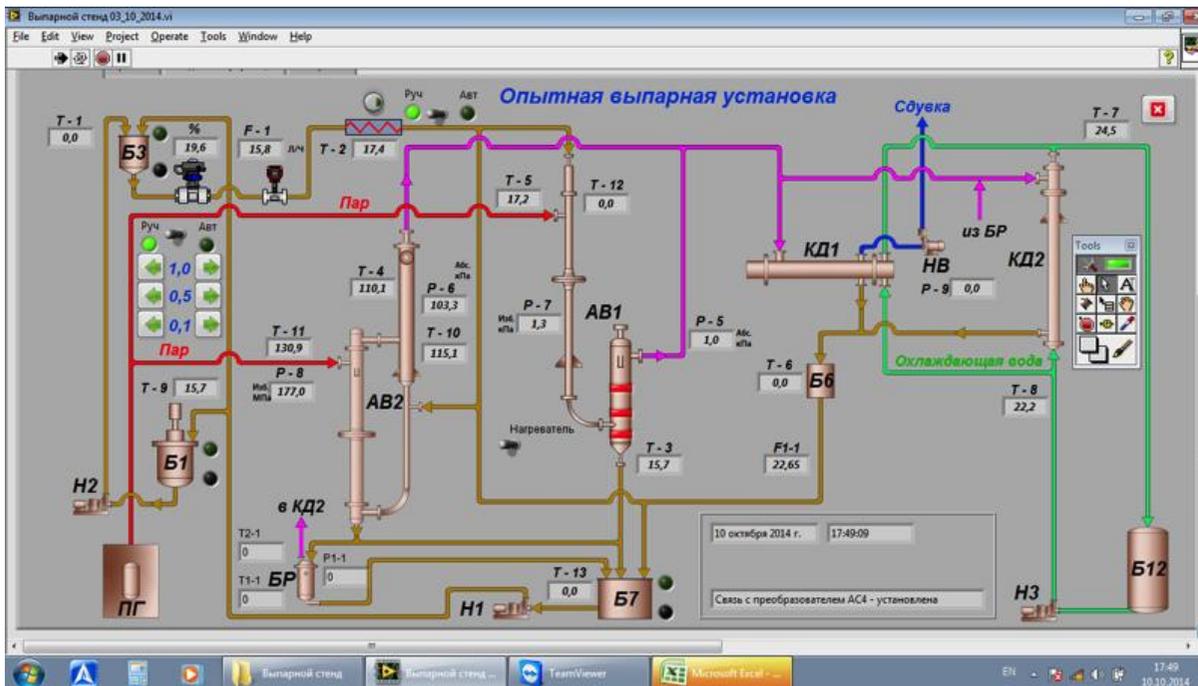
Общий вид выпарного стенда



Греющая камера и циркуляционная труба выпарного аппарата АВ2 и система контроля и поддержания уровня



Верхняя часть абсорбционной колонны АБ и насос дозатор НП2



Мнемосхема системы управления станда (пульт оператора)

Лабораторные исследования показали возможность применения формалина в качестве реагента разложения в ходе упаривания имитатора САО. Формалин позволил разложить нитрат аммония на 80 %, при этом разложение азотной кислоты составило ~ 30 %. Формалин с концентрацией 13,3 моль/л, при этом, подавали в циркуляционную трубу с мольным отношением формалина к содержанию аммония в исходном растворе равным 2.

Таблица 1 – Состав имитатора САО на упаривание

Код продукта	Наименование продукта	Расход, м <sup>3</sup> /т ОЯТ	Состав раствора, моль/л					Состав раствора, г/л	
			HNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	ДТПА	NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub> ,	U	РЗЭ
	Исходный раствор на упаривание		2,7	0,30	0,027	0,0016	0,18		9,0

Таблица 2 – Результаты непрерывной денитрации формалином в процессе упаривания САО  
 Исходный раствор: 2,7 моль/л  $\text{HNO}_3$ ; 0,3 моль/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Концентрация формальдегида в потоке реагента 6,5 моль/л

Время от начала опыта, мин	Расход, л/ч		Кубовый раствор			Дистиллат		Абсорбер		Убыль $\text{NH}_4\text{NO}_3$ за период		Баланс по $\text{HNO}_3$ , %	Расходный коэффициент $\text{CH}_2\text{O} / \text{NH}_4\text{NO}_3$ , моль/моль	
	Исх. раствор	Реагент ( $\text{CH}_2\text{O}$ )	расход, л/ч	моль/л		Расч. расход, л/ч	$\text{HNO}_3$ , моль/л	Расч. расход, л/ч	$\text{HNO}_3$ , моль/л	Количество			к исход.	к убыли
				$\text{HNO}_3$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$					моль/ч	%			
240	18,8	1,4	0,18	7,5	4,9	20,0	2,6	1,7	0,25	4,8	84	103	1,6	1,9
260	19,8	1,4	0,18	7,4	4,5	21,0	2,5	1,7	0,2	5,1	86	98	1,5	1,8
280	19,8	1,4	0,18	7,5	4,5	21,0	2,3	1,7	0,4	5,1	86	88	1,5	1,8
Ср. значение	19,4	1,4	0,18	7,5	4,6	20,7	2,5	1,7	0,3	5,0	86	96	1,6	1,8
Ср. значение	19,3	0,5	0,18	7,8	4,8	20,0	2,5	1,7	0	4,9	85	>98	0,56	0,66

Таблица 3 – Результаты непрерывной денитрации формалином в процессе упаривания САО  
 Исходный раствор: 2,7 моль/л  $\text{HNO}_3$ ; 0,3 моль/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Концентрация формальдегида в потоке реагента 3 моль/л

Время от начала опыта, мин	Расход, л/ч		Кубовый раствор			Дистиллат		Абсорбер		Убыль $\text{NH}_4\text{NO}_3$ за период		Расходный коэффициент $\text{CH}_2\text{O} / \text{NH}_4\text{NO}_3$ , моль/моль	
	Исх. раствор	Реагент ( $\text{CH}_2\text{O}$ )	расход, л/ч	моль/л		Расч. расход, л/ч	$\text{HNO}_3$ , моль/л	Расч. расход, л/ч	$\text{HNO}_3$ , моль/л	Количество		к исход.	к убыли
				$\text{HNO}_3$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$					моль/ч	%		
190	11,3	1,5	0,18	7,8	4,6	12,6	2,0	0,8	0,1	2,6	76	1,3	1,8
210	10,5	1,5	0,18	7,6	4,6	11,8	2,3	0,8	0,15	2,3	74	1,4	1,9
230	9,0	1,5	0,18	8,1	5,1	10,3	2,4	0,8	0,15	1,8	66	1,7	2,5
250	11,3	1,5	0,18	8,1	5,3	12,6	2,6	0,8	0,1	2,4	72	1,3	1,9
Ср. значение	10,5	1,5	0,18	7,9	4,9	11,8	2,3	0,8	0,13	2,3	72	1,4	2,0
Ср. значение	11,9	1,5	0,18	7,3	5,6	13,2	2,2	0,8	1,5	2,6	72	1,3	1,8
Ср. значение	8,8	0,7	0,12	7,1	3,9	9,3	1	3,1	0,37	2,2	82	1,7	2,1

Таблица 4 – Теплотехнические характеристики процесса упаривания имитатора САО с денитрацией нитрата аммония формалином

Время	Т <sub>гп</sub> , °С	Т <sub>куб</sub> , °С	ΔТ, °С	Г <sub>д</sub> , л/ч	г, кДж/кг	Q <sub>д</sub> , кДж	К, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	F, м <sup>2</sup>	G <sub>гп</sub> , л/ч	С д HN03		а1, Вт/(м·ч·гр)	а2, Вт/(м·ч·гр)	q, Вт/м·ч
										моль/л	% масс			
15:40	110,8	102,5	8,3	18	2354,8	42386,0	1688,7	0,8	25,7			5841,2	4000,6	14016,5
16:00	109,1	101,7	7,4	18,8	2354,8	44269,9	1978,3	0,8	26,0			5823,6	6143,8	14639,5
16:20	110,2	102	8,2	17,4	2354,8	40973,2	1652,4	0,8	28,2			5665,0	3880,9	13549,3
16:40	111	102,1	10	21,3	2354,8	50156,8	1658,6	0,8	33,5			5428,6	4037,2	16586,2
17:00	111	101,8	9,2	20,14	2354,8	47425,3	1704,7	0,8	29,0			5695,7	4165,8	15683,0
17:20	111,7	102	9,7	22,2	2280,6	50629,7	1726,0	0,8	30,0	1,0	5,9	5636,7	4329,9	16742,6
17:40	110	101,4	8,6	20,7	2280,6	47208,8	1815,3	0,8	30,2	1,0	5,9	5608,0	4961,2	15611,4
18:00	110,9	101,3	9,6	20,1	2270,6	45638,3	1572,1	0,8	29,2	1,1	6,7	5675,7	3461,3	15092,0
18:20	108,7	101,1	7,6	20,4	2270,6	46319,4	2015,4	0,8	31,0	1,1	6,7	5534,7	6920,7	15317,3
18:40	107,7	100,5	7,2	21,7	2249,2	48807,5	2241,7	0,8	33,7	1,4	8,4	5365,3	11272,3	16140,0
19:00	112,5	101,9	10,6	19,8	2249,2	44534,0	1389,3	0,8	32,3	1,4	8,4	5462,2	2734,5	14726,9
19:20	113	102	11	20,5	2258,0	46288,8	1391,6	0,8	31,0	1,3	7,7	5543,0	2723,2	15307,1
19:40	110	102	8	20,4	2258,0	46063,0	1904,1	0,8	27,4	1,3	7,7	5785,3	5514,5	15232,5
20:00	112	102,5	9,5	21	2260,5	47470,6	1652,4	0,8	30,0	1,3	7,5	5643,2	3891,5	15698,0
20:20	111,3	102,5	8,8	20,3	2261,8	45913,8	1725,4	0,8	29,0	1,2	7,4	5694,9	4291,9	15183,1
20:40	112	102,7	9,3	21,4	2261,8	48401,7	1721,1	0,8	27,0	1,2	7,4	5844,7	4185,1	16005,9
21:00	114	103,4	10,6	19	2254,2	42830,2	1336,2	0,8	25,4	1,4	8,0	5997,4	2435,1	14163,4
21:20	114	103,5	10,5	20	2255,5	45109,5	1420,7	0,8	28,5	1,3	7,9	5771,8	2780,6	14917,2

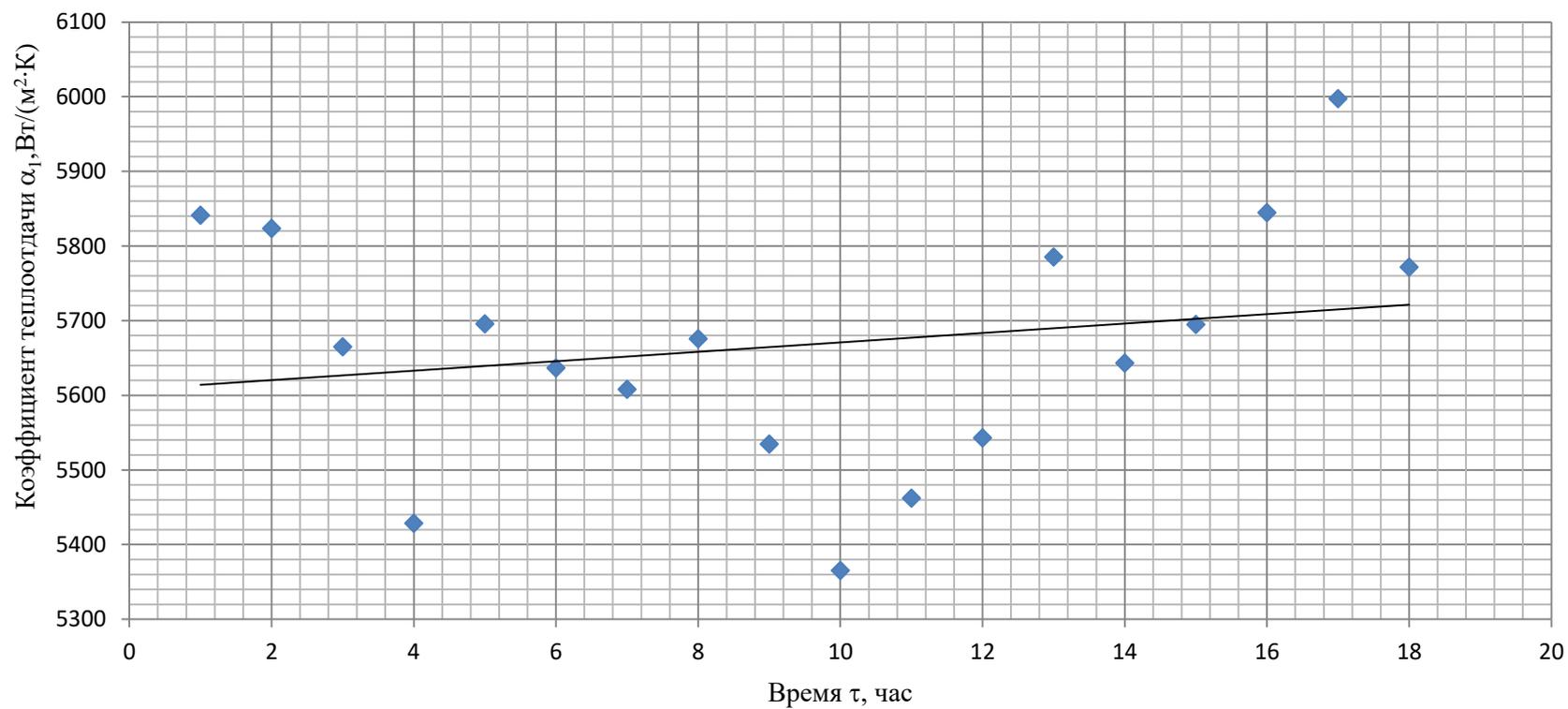


Рисунок 3 – Зависимость изменения коэффициента теплоотдачи от времени работы упаривания имитатора САО с денитрацией

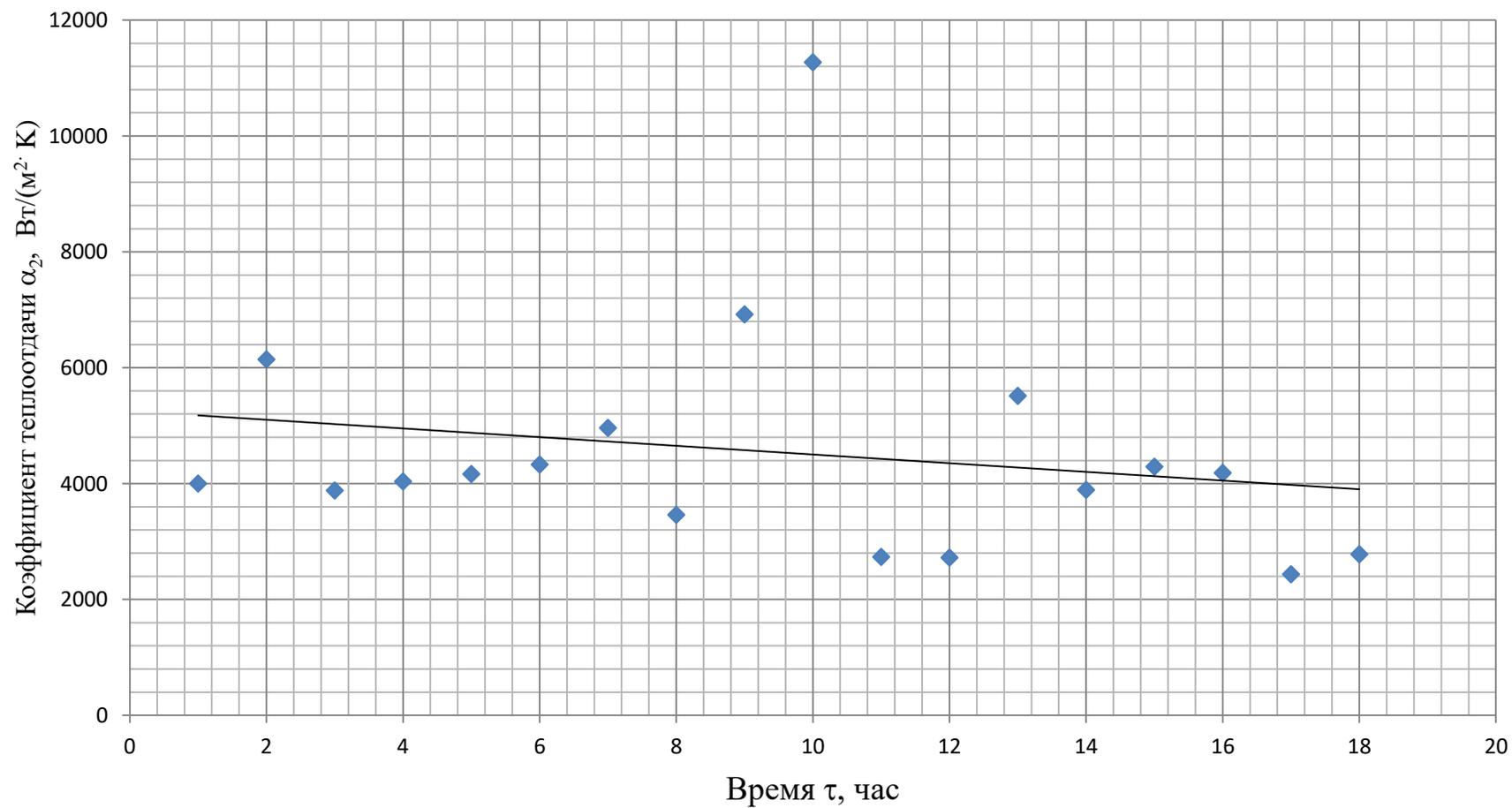


Рисунок 4 – Зависимость изменения коэффициента теплоотдачи от времени работы упаривания имитатора САО с денитрацией

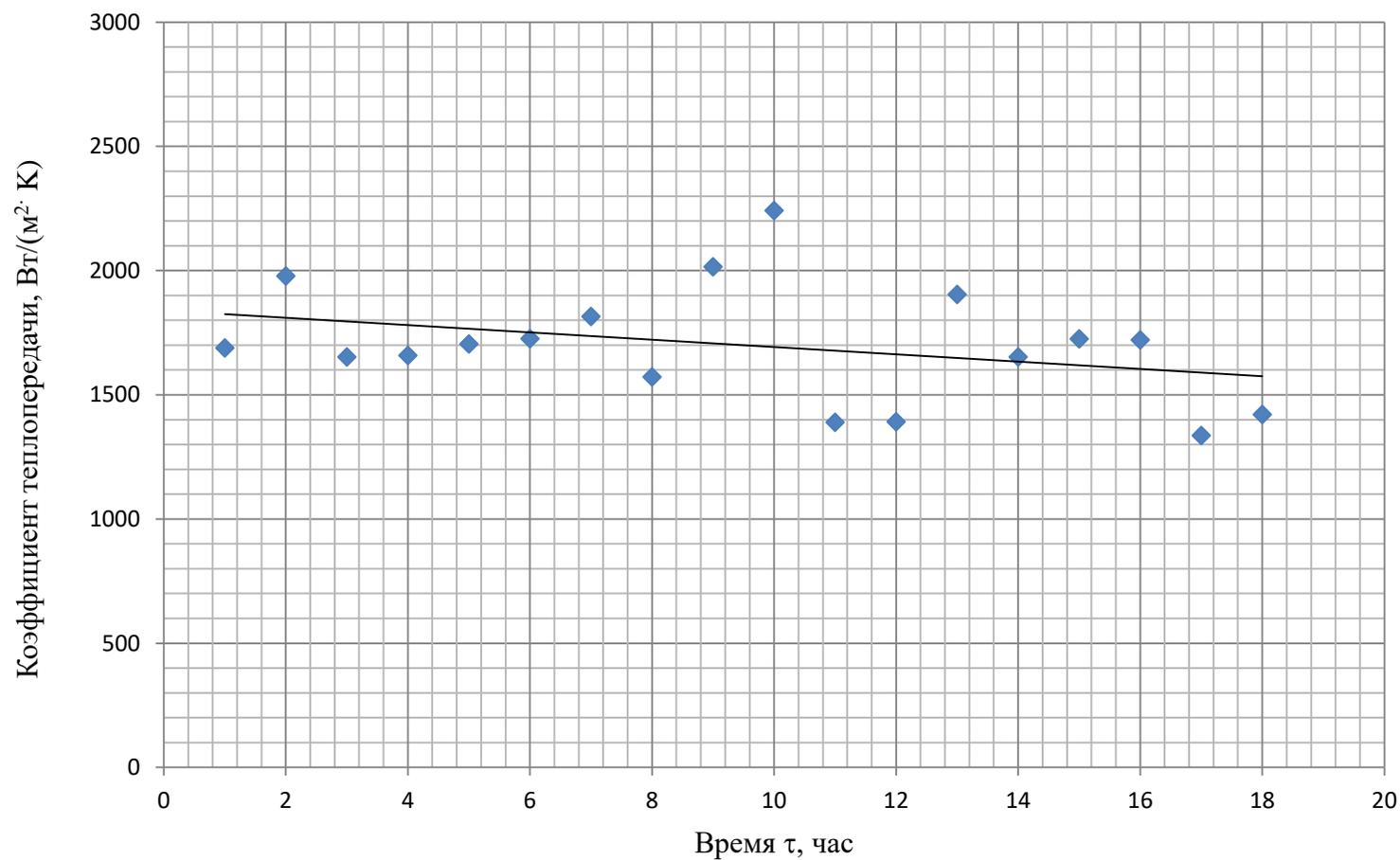


Рисунок 5 – Зависимость изменения коэффициента теплопередачи  $K$  от времени работы упаривания имитатора САО



В результате отработки на стенде АО «СвердНИИхиммаш» процесса упаривания азотнокислых растворов - имитаторов САО от переработки ОЯТ по гидрометаллургической схеме, совмещенного с разложением нитрата аммония формальдегидом:

- Определена область неустойчивых режимов, проведение процесса в которых является малоэффективным и нежелательным. Также были найдены оптимальные режимы разрушения нитрата аммония, позволяющие при мольном расходном коэффициенте  $\text{CH}_2\text{O}/\text{NH}_4\text{NO}_3$  1,5 (относительно нитрата аммония в исходном растворе) обеспечить разложение ~85% нитрата аммония

[Патент №2596816 «Способ концентрирования радиоактивных отходов». Зильберман Б.Я., Рябков Д.В., Мишина Н.Е., Андреева Е.В., Водкайло А.Г., Шадрин А.Ю., Костромин К.В. Способ концентрирования радиоактивных отходов];

- Экспериментально изучены теплотехнические показатели при упаривании имитаторов ВАО в выпарном аппарате опытной установки;

- Получены новые экспериментальные данные коэффициентов теплопередачи. Поскольку в открытых источниках и литературных данных такая информация отсутствует, эти данные представляют ценность для расчета и проектирования выпарного оборудования.

Результаты настоящей работы позволят спроектировать выпарное оборудование для переработки ВАО МП ОДЭК, которое будет отвечать высокой эффективностью, надежностью и безопасностью в работе.



СВЕРДНИИХИММАШ



атомэнергомаш  
ГРУППА КОМПАНИЙ РОСАТОМА

Спасибо за внимание!