DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-57-61 УДК 621.039.75

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ГРЕЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ БАРАБАННО-ПЛЕНОЧНОГО ИСПАРИТЕЛЯ ОТ СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

С. В. Рогожкин, В. В. Калыгин, Д. Р. Рогожкина

АО «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов», Димитровград, Ульяновская область

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2021 г.

В статье представлены предложения по очистке греющей поверхности барабанно-пленочных испарителей от солевых отложений, возникающих в результате упаривания жидких радиоактивных отходов. Приведены режимы течения раствора во вращающемся барабане с использованием систем очистки поверхности.

Ключевые слова: *жидкие радиоактивные отходы, моделирование растворов, барабанно-пленочный испаритель, очистка поверхности, солевые отложения, радиоактивные отходы.*

Введение

Среди перспективных систем переработки жидких радиоактивных отходов рассматривают установку с барабанно-пленочным испарителем (БПИ) [1]. Она предназначена для упаривания жидких радиоактивных отходов (ЖРО) низкого и среднего уровня активности. Конструктивно испаритель выполнен в виде горизонтального барабана, который частично заполнен упариваемым раствором и оснащен системами подвода исходного раствора, отвода концентрата и генерируемого пара. Наружный герметичный кожух образует с внешней поверхностью барабана пространство для греющей паровой рубашки.

Изначально система разогревается с использованием внешнего источника тепла. Затем она работает с использованием технологии MVR (Mechanical Vapor Recompression — механическая рекомпрессия пара): генерируемый в барабане пар направляется в насос Рутса, в котором производится его механическое сжатие и повышение температуры. Этот пар используют в качестве греющего в паровой рубашке барабана.

Отвод концентрированного до солесодержания 700 г/л раствора из вращающегося барабана периодически осуществляют через трубу в вакуумированную емкость (рис. 1).

Соли, образованные в результате упаривания раствора, оседают на внутренней поверхности барабана-испарителя, ухудшая теплопередачу [2]. Для увеличения ресурса выпарного оборудования его необходимо оснащать системой пассивной очистки поверхности. Для этой цели предложено использовать шнек, который помещают в барабан-испаритель свободно (рис. 2).

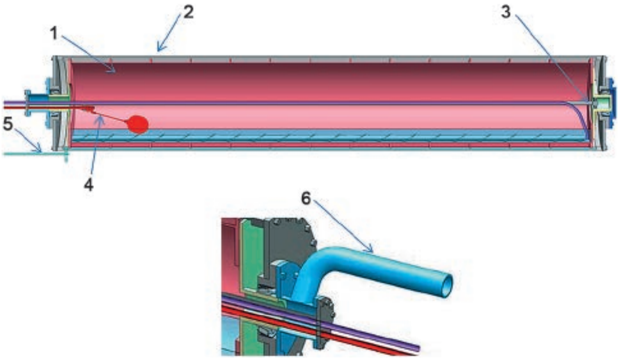

Рис. 1. Схема барабанно-пленочного испарителя: 1 — греющий барабан; 2 — наружный кожух; 3 — труба отвода концентрата; 4 — труба подачи упариваемого раствора; 5 — труба отвода конденсата; 6 — патрубок отвода пара

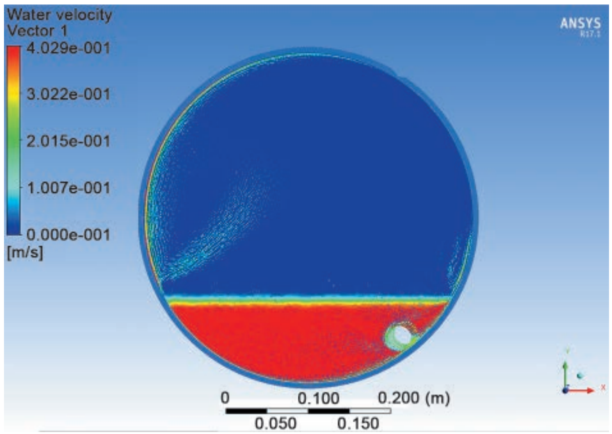

Рис. 3. Распределение скорости частиц среды в барабане-испарителе со шнеком

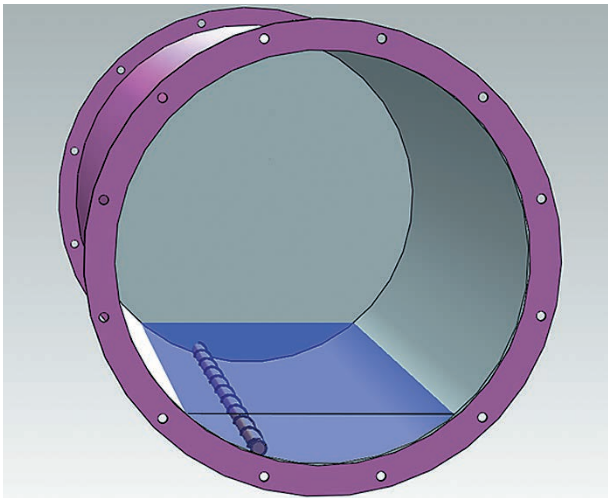

Рис. 2. Размещение шнека в барабане-испарителе

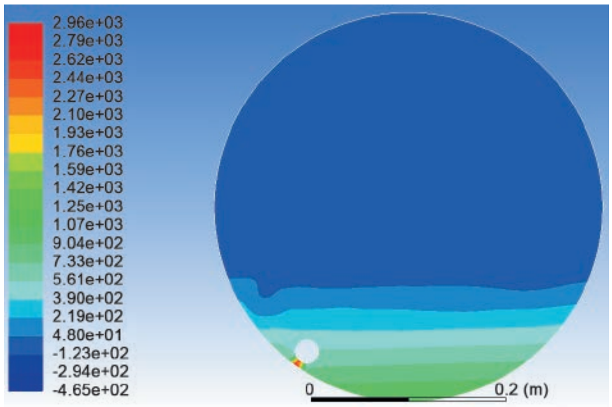

Рис. 4. Распределение плотности среды в барабане-испарителе со шнеком с учетом рассмотрения трех сред

При вращении барабана он также вращается, срезая за счет режущей кромки спирали оседающие соли, образующиеся в результате упаривания ЖРО, и отводя их к месту выгрузки.

Модель поведения жидкости внутри пленочного барабана-испарителя

Для проверки работоспособности и выявления таких возможных явлений, как расплескивание, пенообразование, капельный унос, проведены расчеты с использованием программ ANSYS 17 CFX и Fluent. Была построена математическая модель барабана со шнеком и задано его вращение — 14 оборотов в минуту. Результаты, приведенные на рис. 3, показывают, что поверхность воды гладкая, без возмущений и всплесков.

Модель, которая позволяет рассмотреть не менее трех сред [3] (воздух-вода-концентрат), была создана в ANSYS 17 Fluent. Результаты расчета, приведенные на рис. 4, демонстрируют позиционирование концентрата в нижней точке барабана.

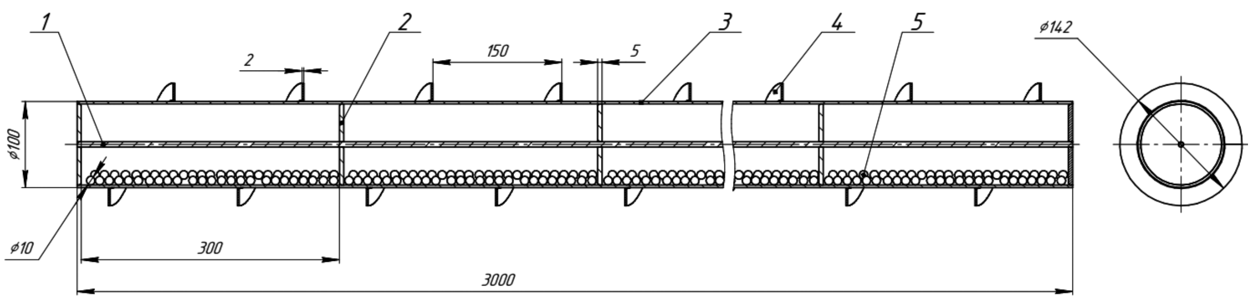

Рис. 5. Продольный разрез шнека: 1 — ось, 2 — перегородка, 3 — труба, 4 — спираль, 5 — шарик

Пассивная система сбрасывания соли со шнека

На поверхности шнека также возможно отложение солей. Для устранения этой проблемы предложено техническое решение, изображенное на рис. 5.

Внутри шнека организованы ячейки, образуемые перегородками, закрепленными на оси и дополнительно служащими ребрами жесткости. Между перегородками размещены металлические шарики, которые имеют одинаковую комплектность внутри ячеек, но разную массу. При движении шарики производят вибрации за счет столкновений, передают их шнеку и тем самым мешают закреплению солей на режущей поверхности. Одинаковая комплектность шариков внутри ячеек позволяет избежать перекоса шнека внутри барабана.

Эксперименты по проверке работоспособности системы сброса солей с поверхности шнека

Для проверки работоспособности системы очистки шнека в лаборатории Димитровградского инженерно-технологического института, филиала НИЯУ МИФИ, была собрана модель установки (рис. 6) и проведены эксперименты.

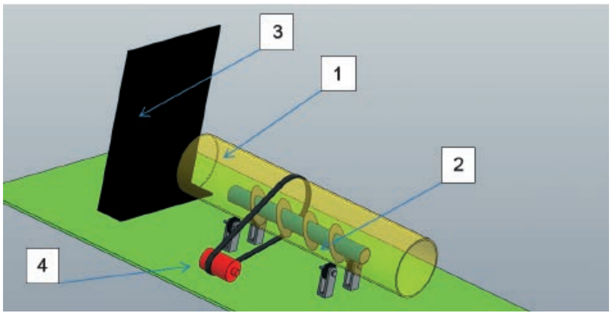

*Рис. 6. Схема экспериментальной установки:
1 — барабан, 2 — шнек, 3 — экран, 4 — двигатель*

Барабан вращали на колесных опорах с помощью двигателя со скоростью 14 оборотов в минуту. Внутрь барабана помещали шнек в двух вариантах исполнения: с системой очистки и без нее.

Тонко измельченные кристаллы белого сахара размером не более 0,2 мм имитировали солевые отложения, образующиеся во время упаривания ЖРО. Время проведения экспериментов было фиксировано.

Для сравнения эффективности работы вариантов шнека была написана программа, которая обеспечивает получение тридцати фотографий в каждом эксперименте, подсчитывает количество

Рис. 7. Пример фотографии с фиксацией сбрасываемых со шнека взвесей

взвесей (рис. 7), сбрасываемых со шнека, и заносит в таблицу в порядке возрастания.

Проведено по три испытания для каждого варианта шнека. Зафиксированные результаты представлены в таблице.

Таблица. Зафиксированное в экспериментах количество частиц

№	Шнек с системой сбрасывания солей			Шнек без системы сбрасывания солей		
	Эксперимент № 1	Эксперимент № 2	Эксперимент № 3	Эксперимент № 4	Эксперимент № 5	Эксперимент № 6
1	82,00	70,00	103,5	106,5	51,5	94
2	120,00	90,50	111,5	116,5	114	106
3	121,50	102,00	155,5	121	130	112
4	124,50	107,00	166,5	123	143	121,5
5	125,00	137,00	175	128,5	149,5	140
6	126,00	173,50	176	132	154	149
7	138,50	178,50	184	137	157	157,5
8	140,50	198,00	191	141,5	157	162,5
9	152,00	212,00	195,5	145,5	158	166,5
10	152,50	213,50	200	152	160	171,5
11	153,50	235,50	206,5	154,5	165	182,5
12	155,50	241,50	212	158	168,5	203
13	165,50	244,00	214	163,5	170,5	210
14	174,00	254,00	224,5	167	181	211

Продолжение таблицы

№	Шнек с системой сбрасывания солей			Шнек без системы сбрасывания солей		
	Экспери-мент № 1	Экспери-мент № 2	Экспери-мент № 3	Экспери-мент № 4	Экспери-мент № 5	Экспери-мент № 6
15	180,00	256,00	233,5	175	184	216,5
16	183,00	260,50	238	177,5	185,5	225
17	190,50	264,00	243	181,5	188,5	228,5
18	208,00	269,50	246	185,5	192,5	238
19	213,00	275,50	250,5	188,5	201,5	242
20	214,50	286,50	253	188,5	204,5	247,5
21	221,00	287,00	259,5	191	207	250
22	227,00	296,50	262,5	194,5	209,5	255
23	231,00	303,00	273,5	206,5	225	258,5
24	233,50	312,50	275,5	211,5	234,5	266,5
25	236,50	322,50	290,5	213	237	271,5
26	239,50	330,50	298	216,5	240,5	293
27	252,00	354,00	302,5	224,5	258,5	299
28	279,50	360,50	306,5	245	275,5	319
29	285,50	375,00	324	263,5	295,5	327,5
30	291,50	401,00	342	272	360	454,5

Вычислив среднеарифметическое количество частиц для каждого эксперимента, получили, что эффективность шнека с системой очистки на 13,1 % выше.

Заключение

Полученные результаты демонстрируют возможность использования шнека в качестве системы очистки греющей поверхности барабанно-пленочных испарителей от солевых отложений, возникающих в результате упаривания жидких радиоактивных отходов. Система сбрасывания солей позволяет продлить время работы выпарного оборудования без остановок на очистку греющей поверхности от солевых отложений.

Литература

1. Пат. 2619768 Российская Федерация, МПК G21F9/00. Выпарная установка для концентрирования жидких растворов / Узиков В. А., Кочнов Я. К., Осипова Н. Е., Узикова И. В.; патентообладатель Узиков В. А.; заявл. 08.06.2016; опубл. 18.05.2017 // Бюллетень патентов. 2017. № 14.

2. *Присяжнюк В. А.* Физико-химические основы предотвращения кристаллизации солей на теплообменных поверхностях // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2003. № 10. С. 26—30.

3. *Батурин О. В., Батурин Н. В., Матвеев В. Н.* Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent. — Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. 172 с.

Информация об авторах

Рогожкин Сергей Владимирович, инженер-конструктор 2-й категории, АО «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (433510, Ульяновская область, Димитровград, Западное шоссе, д. 9), e-mail: rogojkin.ser@yandex.ru.

Калыгин Владимир Валентинович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, АО «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (433510, Ульяновская область, Димитровград, Западное шоссе, д. 9), e-mail: wkalygin@gmail.com.

Рогожкина Дарья Руслановна, инженер-метролог, АО «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (433510, Ульяновская область, Димитровград, Западное шоссе, д. 9), e-mail: rogojkina-d@ya.ru.

Библиографическое описание статьи

Рогожкин С. В., Калыгин В. В., Рогожкина Д. Р. Система очистки греющей поверхности барабанно-пленочного испарителя от солевых отложений // Радиоактивные отходы. 2022. № 1 (18). С. 57—61. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-57-61.

SYSTEM FOR THE DECONTAMINATION OF A DRUM-TYPE FILM EVAPORATOR HEATING SURFACE FROM SALT DEPOSITS

Rogozhkin S. V., Kalygin V. V., Rogozhkina D. R.

JSC "State Scientific Center — Scientific Research Institute of Atomic Reactors", Dimitrovgrad, Ulyanovsk region, Russia

Article received on September 20, 2021

The paper presents some proposals regarding the decontamination of drum-type film evaporator heating surface from salt deposits resulting from the evaporation of liquid radioactive waste. It presents the solution flow modes in a rotating drum given the application of a surface decontamination system.

Keywords: *liquid radioactive waste, modeling of solutions, drum-type film evaporator, surface decontamination, salt deposits, radioactive waste.*

References

1. Vyparnaya ustanovka dlya kontsentrirovaniya zhidkikh rastvorov [Evaporation Unit for Liquid Solutions Concentration]. Pat. 2619768 Russian Federation, MPK G21F9/00. Uzikov V. A., Kochnov Ya. K., Osipova N. E., Uzikova I. V.; patent holder — Uzikov V. A., application date 08.06.2016; publication date 18.05.2017. Bulletin of patents, 2017, no. 14.
2. Prisyazhnyuk V. A. Fiziko-khimicheskie osnovy predotvrashcheniya kristallizatsii solei na teploobmennykh poverkhnostyakh [Physico-Chemical Principles of Preventing the Crystallization of Salts on Heat Exchange Surfaces]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie — Plumbing, Heating, Air-Conditioning,* 2003, no. 10, pp. 26—30.
3. Baturin O. V., Baturin N. V., Matveev V. N. *Postroyeniye raschetnykh modeley v preprotsessore Gambit universal'nogo programmnogo kompleksa Fluent: ucheb. posobiye* [Construction of Computational Models in the Gambit Preprocessor of the Fluent Universal Software Package: Textbook]. Samara, State Aerospace University Publ., 2009. 172 p.

Information about the authors

Rogozhkin Sergey Vladimirovich, Design Engineer of the 2nd category, JSC "State Scientific Center — Scientific Research Institute of Atomic Reactors" (9, Zapadnoye Shosse, Dimitrovgrad, Ulyanovsk region, 433510, Russia), e-mail: rogojkin.ser@yandex.ru.

Kalygin Vladimir Valentinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, JSC "State Scientific Center — Scientific Research Institute of Atomic Reactors" (9, Zapadnoye Shosse, Dimitrovgrad, Ulyanovsk region, 433510, Russia), e-mail: wkalygin@gmail.com.

Rogozhkina Daria Ruslanovna, Metrologist Engineer, JSC "State Scientific Center — Scientific Research Institute of Atomic Reactors" (9, Zapadnoye Shosse, Dimitrovgrad, Ulyanovsk region, 433510, Russia), e-mail: rogojkina-d@ya.ru.

Bibliographic description

Rogozhkin S. V., Kalygin V. V., Rogozhkina D. R. System for the Decontamination of a Drum-Type Film Evaporator Heating Surface from Salt Deposits. *Radioactive Waste,* 2022, no. 1 (18), pp. 57—61. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-1-57-61. (In Russian).