

А. М. Лапчаа
A. M. Lapchaа
lapchaаang@mail.ru
В. А. Никулин
V. A. Nikulin
va.nikulin@mail.ru
А. П. Хомяков
A. P. Khomyakov
a.p.khomiakov@urfu.ru

ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина» г. Екатеринбург
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАКУУМ-ВЫПАРНОЙ-КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ
УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СТОКОВ ИОНОАГЕНТА
ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ
«НОВО-СВЕРДЛОВСКАЯ ТЭЦ»**

Аннотация: В работе описаны перспективы применения вакуум-выпарной установки для утилизации регенерационных стоков ВПУ ТЭЦ до получения в конечном продукте кристаллической соли, включающей в себя выпарные аппараты, шнековую центрифугу и циклон.

Ключевые слова: выпарная установка, регенерационные стоки водоподготовительной установки ТЭЦ, выпарной аппарат, кристаллизация, ионоагент, переработка стоков.

**DESIGN OF A VACUUM EVAPORATION-CRYSTALLIZATION PLANT FOR
ION AGENT REGENERATION EFFLUENTS OF A WATER TREATMENT PLANT OF
THE «NOVO-SVERDLOVSKAYA CHP» THERMAL POWER PLANT**

Abstract: The work describes the prospects for the use of a vacuum evaporation plant for the utilization of regenerative effluents of the VPU CHP to obtain a crystalline salt in the final product, including evaporators, a screw centrifuge and a cyclone.

Keywords: evaporation plant, regenerative effluents of the CHP water treatment plant, evaporation apparatus, crystallization, ion agent, wastewater treatment.

Введение. Одной из насущных проблем современного энергетического комплекса Российской Федерации является утилизация засоленных регенерационных стоков. На фоне данной проблемы актуализируется задача повышения надежности и экономичности работы энергетических систем.

Цель работы. На основе данных сточных вод водоподготовительной установки химического цеха Ново-Свердловская ТЭЦ г. Екатеринбург спроектировать выпарную установку для получения кристаллов ионоагента для последующей утилизации

Основная часть. На практическом опыте было выявлено, что экономичность работы ТЭЦ зависит от степени замкнутости и, в первую очередь, от безотходности цикла. Конкретно ТЭЦ является одним из крупных источников сточных вод, из которых особое внимание в данной научной статье уделили сточным водам ВПУ (водоподготовительных

VII Международная научно-практическая конференция «Экологическая безопасность в техноферном пространстве»

установок химического цеха ТЭЦ), в настоящее время утилизация проводится вывозом за территорию предприятия в искусственные бассейны-отстойники шлама, в следствие высоко содержания солей (табл. 1) [1].

Таблица 1. Результаты анализов природных и сточных вод Ново-свердловской ТЭЦ за апрель 2024 г.

№ п/п	Анализируемые показатели	Единицы измерения	Фоновая точка	Циркуляционная вода (оборот)	Выпуск №1 (сброс в Бассейн)
1	рН	-	7,4	8,44	7,7
2	Щелочность	мг-э/дм ³	-	0,31	-
3	Окисляемость	мг/дм ³	-	7,67	-
4	Хлориды	мг/дм ³	50,1	39,62	59,0
5	Жесткость общ.	мг-э/дм ³	-	7,2	-
6	Кальций	мг/дм ³	32,8	95,32	38,2
7	Магний	мг/дм ³	28	29,67	35,8
8	Сульфаты	мг/дм ³	93,7	189,06	164,7
9	Азот аммония	мг/дм ³	0,16	1,2	0,99
10	Нитриты	мг/дм ³	-	-	-
11	ИОМС	мг/дм ³	-	0,66	0,07
12	Фосфор фосфатов	мг/дм ³	0,1	0,15	-
13	Токсичность	-	-	-	-

В доказательство актуальности рассматриваемого вопроса проведем расчет экологического ущерба наносимый ТЭЦ на сегодняшний день:

Экологический ущерб ($У$, тыс.руб.), наносимый биосфере, ориентировочно (приемлемый для дипломной работы) можно рассчитать, как сумму ущербов от загрязнений атмосферы, лито- и гидросферы по формуле:

$$У = \sum_{i=1}^n P_i m k_s, \quad (1)$$

где P_i – норматив платы за загрязнение природной среды, руб/т (прил. 2); m – масса выбрасываемого в окружающую среду загрязняющего вещества, т/год; k_s – коэффициент, учитывающий экологическую ситуацию [2].

С учетом того, что сточных вод в среднем вывозится около 5000 т/год, норматив платы суммарный составит 2672,89 руб/т, коэффициент примем равным 1,2, тогда экологический ущерб составит:

$$У = 16\,037\,000 \text{ руб.}$$

Экологический ущерб с одного предприятия составил более 16 млн. рублей. На территории Российской Федерации теплоэлектростанций насчитывается более тысячи, соответственно сумма ущербов превышают триллионы рублей.

Необходимость построения и обеспечения работы, спроектированной установки для регенерационных стоков химического цеха определено необходимо.

Рассмотрим подробнее, где и как скапливаются сточные воды в химическом цехе ТЭЦ «Ново-Свердловская». В результате эксплуатации схем обессоливания воды с западнофильтровальной станции формируются: сточные воды с ОН-фильтров, засоленные стоки с Н-фильтров; отмывочные воды с Н-, ОН-фильтров, кислые и щелочные воды после взрыхления Н и ОН фильтров, сточные воды после промывочных работ с механических фильтров, концентрированные воды после приготовления рабочих растворов щелочи, гидразина, фосфатов, кислоты и флокулянта.

На основе рассматриваемой острой проблемы энергетических предприятий была предложена следующая схема утилизации сточных вод ВПУ ХЦ ТЭЦ:

Технология очистки промышленных стоков после регенерации основных потоков в водоподготовительные установки Ново-Свердловской ТЭЦ основана на методе дистилляции воды в высокоэффективном многоступенчатом вертикальном испарителе с падающей пленкой и дополнительно оборудованного кристаллизационного аппарата.

Установка позволяет полностью переработать содесодержащие сточные воды, а также получить вторичный ресурс для собственных нужд предприятия или реализации в виде кристаллической соли. Благодаря данной установке ТЭЦ подобные рассматриваемой в данной работе могут решиться рассматриваемый в настоящей работе вопрос экологического и энергетического характера. Учитывая, что опытно-промышленная установка будет расположена на территории ТЭЦ энергозатраты практически вписываются в тепловую систему ТЭЦ.

Преследуемые результаты выпарной установки:

- *Сокращение сбросов стоков на 100%* – за счет утилизации стоков до кристаллического остатка и технологии нулевого жидкого сброса.
- *Снижение водопотребления и возврат в цикл до 99% воды* – получаемая воды пригодна для потребления (питание котлов, оборотные системы охлаждения, приготовление растворов, промывные воды)
- *Кристаллическая соль* – получаемая соль может быть доведена до качества технического продукта и использована в химической промышленности. Концентрат или соль может быть применена для регенерации Na-катионитовых фильтров или использована как вторичный продукт производства и определено приносить дополнительную прибыль для предприятия.

Обоснование выбора установки. Многокорпусная вакуум-выпарная установка, состоящая из трех корпусов: первые два – выпарные аппараты с падающей пленкой тип 3 исполнение 2 и одного выпарного аппарата с принудительной циркуляцией с вынесенной зоной кипения, работающая при прямоточном движении греющего пара и раствора.

Достоинства проведения выпаривания в установке с разрежением в последнем корпусе – это возможность проводить процесс при более низких температурах; увеличение полезной разности температур и, следовательно, уменьшение поверхности нагрева аппарата, а также возможность использовать в качестве греющего агента вторичный пар самой установки. Использование многокорпусной установки дает экономию греющего пара и тепла.

При размещении греющей камеры вне корпуса аппарата имеется возможность повысить интенсивность выпаривания за счет увеличения длины кипяtilьных труб. Аппараты с вынесенной греющей камерой имеют кипяtilьные трубы, длины которых часто достигают 6–7 метров. Они работают при более интенсивной циркуляции, что обусловлено тем, что циркуляционная труба не обогревается, а подъемный и опускной участки циркуляционного корпуса значительную высоту. Выносная греющая камера легко отделяется от корпуса аппарата, что облегчает и ускоряет чистку и ремонт.

Описание технологической схемы установки. Технологическая схема процесса выпаривания представлена на рисунке 1. Исходный разбавленный раствор из бака регенерационных стоков водоподготовительной установки ТЭЦ центробежным насосом подается в теплообменник (где подогревается до температуры близкой к температуре кипения), а затем с помощью насоса в первый корпус выпарного аппарата с падающей пленкой выпарной установки. Предварительный подогрев раствора повышает интенсивность кипения в выпарном аппарате.

Первый корпус обогревается свежим водяным паром, падающим из коллектора пара. Вторичный пар, образующийся при концентрировании раствора в первом корпусе, направляется в качестве греющего во второй корпус выпарной установки 2. Сюда же поступает частично сконцентрированный раствор из первого корпуса 1 с помощью насоса. Обоснование в дополнительном насосе заключается в том, что благодаря расчетам было определено, что плотность орошения потока составила минимальные значения, для повышения данного значения у корпусов первых двух выпарных аппаратов были спроектированы насосы. Аналогично третий корпус – выпарной аппарат с принудительной циркуляцией 3, обогащенный насосом обогревается вторичным паром

второго корпуса 2 и в нем производится концентрирование раствора, поступившего из второго корпуса 2. Самопроизвольный перетек раствора и вторичного пара в следующие корпуса (2–3 корпуса) возможен благодаря общему перепаду давлений, возникающему в результате создания вакуума конденсацией вторичного пара последнего корпуса в барометрическом конденсаторе смешения пароконденсаторе (где заданное давление поддерживается подачей охлаждающей воды и отсосом неконденсирующихся газов вакуум – насосом). Смесь охлаждающей воды и конденсата выводится из конденсатора при помощи барометрической трубы с гидрозатвором. Образующийся в третьем корпусе 3 выпарной установки концентрированный раствор центробежным насосом 2 подается в гидроциклон, где, очищаясь более крупные частицы в виде жидкой суспензии поступают центрифугу, откуда далее переходят в пункт фасовки. мелкие частицы в виде затравки поступают на рециркуляцию в выпарной аппарат с принудительной циркуляцией 3. Конденсат греющих паров из выпарных аппаратов и теплообменника выводится с помощью конденсатоотводчиков.

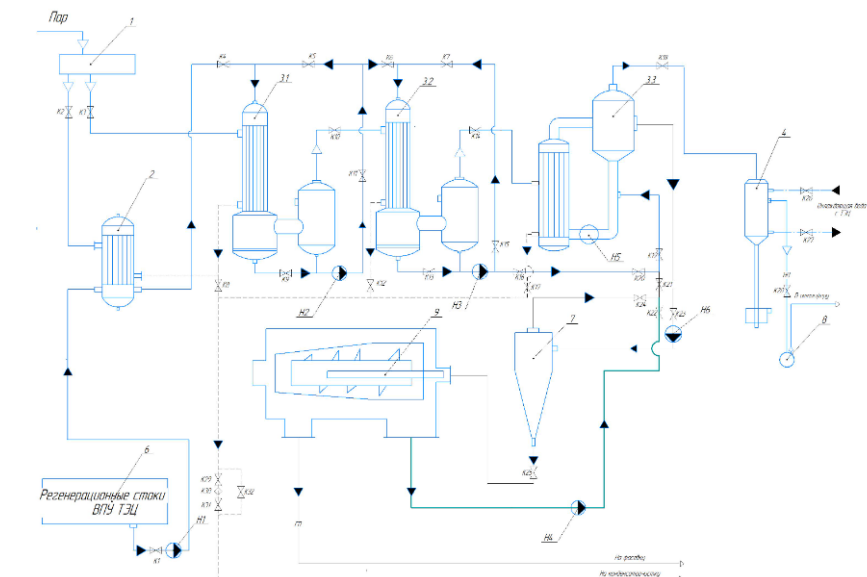


Рисунок 1. Принципиальная схема опытно-промышленной вакуум-выпарной-кристаллизационной установки

1 – коллектор пара; 2 – подогреватель; 3 – выпарные аппараты (3.1, 3.2 – выпарные аппараты с падающей пленкой, 3.3 – выпарной аппарат с принудительной циркуляцией); 4 – барометрический конденсатор; 5 – насосы; 6 – бак стоков регенерационных стоков ВПУ ТЭЦ; 7 – гидроциклон; 8 – вакуум-насос; 9 – центрифуга шнековая.

Перспективы реализации полученной кристаллической соли. Вторичный продукт в виде порошкообразной соли в составе которого преимущественно соединения магния, кальция, сульфатов и хлоридов могут в дальнейшем применяться в качестве добавки эмульгатора, отвердителей, осушителей или коагулянта (сульфат кальция),

применимы также в медицине (сульфат магния), сельском хозяйстве для повышения качества кормов и удобрений, нефтяной промышленности в качестве очистителя газа, а также для увеличения нефтеотдачи (хлорид кальция), в самой энергетике используется как присадка к высокосернистым мазутам (хлорид магния). Применение полученной соли обширное, главной задачей предприятия будет поиск потребителей.

Выводы. Особое внимание со стороны природоохраны и наличия такой проблемы, как регенерационные стоки способствовало написанию настоящей работы. Благодаря предложенной опытно-промышленной вакуум-выпарной-кристаллизационной установки для регенерационных стоков ХЦ ТЭЦ, в первую очередь предприятие понизит экологический ущерб, наносимый на протяжении 40 лет с момента начала работы самой ТЭЦ на окружающую среду. По выполненным расчетам экологический ущерб превысил 16 млн. рублей в год, что является колоссальным значением для одного предприятия.

Таким образом, результатом исследования станет полностью утилизированные на ноль сточные воды, дополнительная прибыль для предприятия в виде вторичного продукта от эксплуатации химического цеха ТЭЦ, уменьшение экологического ущерба.

На основе вышенаписанного подтверждаем эффективность и необходимость предлагаемой вакуум-выпарной установки для регенерационных стоков водоподготовительных установок теплоэлектроцентралей.

Список литературы

1. Отчет отдела водно-химического анализа химического цеха теплоэлектроцентрали «Ново-Свердловская ТЭЦ» от 01.05.2024.
2. Безопасность жизнедеятельности: методические указания к оформлению раздела «Безопасность жизнедеятельности» в дипломных проектах и работах / сост. Е. Е. Барышев, Г. В. Тягунов, И. Н. Фетисов; науч. ред. В. С. Цепелев. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 51 с.