

**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 <sup>3</sup>	-	0,31	-
3	Окисляемость	мг/дм <sup>3</sup>	-	7,67	-
4	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	50,1	39,62	59,0
5	Жесткость общ.	мг-э/дм <sup>3</sup>	-	7,2	-
6	Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	32,8	95,32	38,2
7	Магний	мг/дм <sup>3</sup>	28	29,67	35,8
8	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	93,7	189,06	164,7
9	Азот аммония	мг/дм <sup>3</sup>	0,16	1,2	0,99
10	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	-	-	-
11	ИОМС	мг/дм <sup>3</sup>	-	0,66	0,07
12	Фосфор фосфатов	мг/дм <sup>3</sup>	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 соледержащие 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.

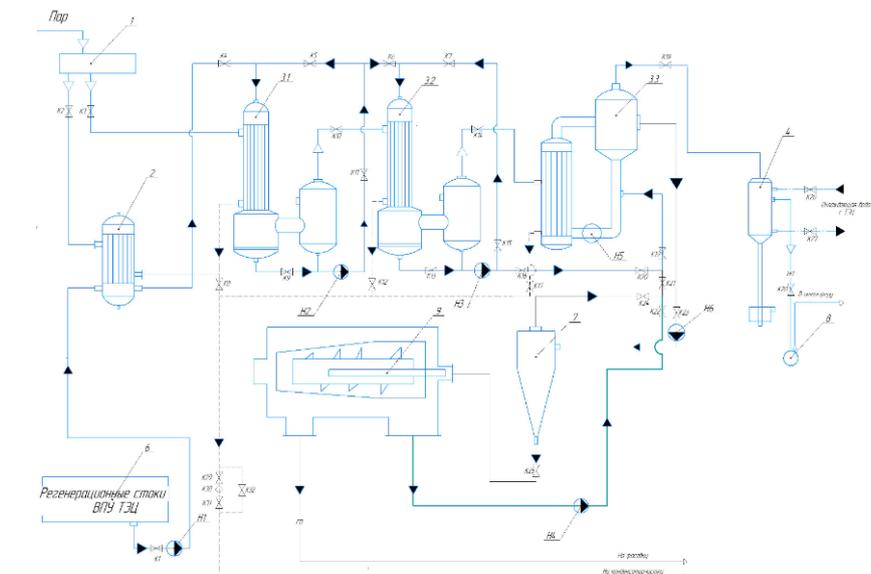
Достоинства проведения выпаривания в установке с разрежением в последнем корпусе – это возможность проводить процесс при более низких температурах; увеличение полезной разности температур и, следовательно, уменьшение поверхности нагрева аппарата, а также возможность использовать в качестве греющего агента 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.