

**Ю. Б. ДАНИЛОВ, С. М. БИКАНОВ, О. О. ГАПОНОВА, А. О. НАГОРНИЙ, О. І. РУСИНОВ**

### **ІНТЕНСИВНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕГАЮЧІ ВИПАРНІ АПАРАТИ З ПЛАСТИНЧАТОЮ ГРІЮЧОЮ КАМЕРОЮ**

Розглянуті сучасні розробки випарних апаратів з пластинчастими гріючими камерами для виробництв, пов'язаних з концентруванням розчинів їдкого натру, фосфорної кислоти, утилізацією хлоридних стоков. Наведено різні варіанти розташування пластинчастої гріючої камери в випарному апараті. Розглянуто конструкцію пластинчастої гріючої камери, показано пластини секції випарювання, наведено, що кожна секція має три пластини. Показано компоновку пластин та розріз випарного апарату. Відзначено, що завдяки компоновці трьох спеціальних пластин утворюється секція, в якій здійснюється перегрів розчину та його закипання, відділення вторинної пари та спрямування її на нагрівання наступної секції та перетікання частково упареного розчину на наступну ступінь випарювання. Послідовна компоновка секцій дозволяє створити випарний апарат з багаторазовим використанням тепла гріючого пара, при цьому кількість секцій визначає кратність використання тепла гріючого пара та його економію на одиницю води, що випаровується. Представлені конструктивні рішення щодо створення нових інтенсивних пластинчастих випарних апаратів дозволяють значно вдосконалити процеси концентрування розчинів з урахуванням їх фізико-хімічних характеристик, солевідкладень на гріючих поверхнях і корозійній агресивності розчинів. Запропоновані технічні рішення мають конструктивні рішення, матеріальне виконання та технологію виготовлення.

**Ключові слова:** випарний апарат, пластинчаста гріюча камера, пластини секції стадії випарювання, випарювальний розчин, вторинна пара.

### **Ю. Б. ДАНИЛОВ, С. Н. БИКАНОВ, Е. А. ГАПОНОВА, А. О. НАГОРНИЙ, А. И. РУСИНОВ ИНТЕНСИВНЫЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПЛАСТИНЧАТОЙ ГРЕЮЩЕЙ КАМЕРОЙ**

Рассмотрены современные разработки выпарных аппаратов с пластинчатыми греющими камерами для производств, связанных с концентрированием растворов едкого натра, фосфорной кислоты, утилизацией хлоридных стоков. Приведены различные варианты размещения пластинчатой греющей камеры в выпарном аппарате. Рассмотрено конструкцию пластинчатой греющей камеры, показаны пластины секции выпаривания, отмечено, что каждая секция имеет три пластины. Показано компоновку пластин и сечение выпарного аппарата. Отмечено, что благодаря компоновке трех специальных пластин получается секция, в которой осуществляется перегрев раствора и его вскипание, отделение вторичного пара с направлением его на нагрев следующей секции и перетекание частично упаренного раствора на следующую ступень выпаривания. Последовательная компоновка секций позволяет создать выпарной аппарат с многократным использованием тепла греющего пара, при этом количество секций определяет кратность использования тепла греющего пара и его экономии на единицу выпаренной воды. Представленные конструктивные решения по созданию новых интенсивных пластинчатых выпарных аппаратов позволяют значительно усовершенствовать процессы концентрирования растворов с учетом их физико-химических характеристик, солеотложений на греющих поверхностях и коррозионной агрессивности растворов. Предложенные технические решения имеют конструктивные решения, материальное исполнение и технологию изготовления.

**Ключевые слова:** выпарной аппарат, пластинчатая греющая камера, пластины секции стадии выпаривания, упариваемый раствор, вторичный пар.

### **Y. B. DANYLOV, S. M. BYKANOV, O. O. GAPONOVA, A. O. NAGORNIY, O. I. RUSINOV INTENSIVE AND ENERGY-SAVING EVAPORATORS WITH PLATE WARMING CHAMBER**

The modern developments of the evaporators with plate warming chambers for manufactures related to the concentration of caustic soda solutions, phosphoric acid and chloride effluents utilization have been considered. The plate warming chambers different disposition within evaporator was presented. The plate warming chamber construction along with the evaporation sections consisting of three plates are considered. The plates composition and evaporator section are given. It is noted that due to a three special plates composition the section is formed. This section provides the solution overheating and boiling, separation of secondary steam and its direction to the next section heating, while partially evaporated solution flows to the next evaporation stage. The sequential combination of sections allows to develop the evaporator with reusable warming steam heat wherein the number of sections determines the warming steam heat multiplicity of use and its economy per unit of water being evaporated. A paper identifies the constructive decisions on the new intensive plate evaporators developing. They are able to significantly improve the solutions concentration processes taking into account their physico-chemical characteristics, corrosive aggressiveness and salt deposits on the heating surfaces. The technical approaches having constructive and material implementation, and manufacturing technology have been proposed.

**Key words:** evaporator, plate warming chamber, plate of evaporation section, evaporated solution, secondary steam.

**Введення.** Процеси випаривання широко використовуються в хімічній промисловості. В частині, їх використовують при концентруванні розчинів їдкого натру, фосфорної кислоти, утилізації хлоридних стоков виробництв. Совершенствование конструкцій випарних апаратів, збільшення інтенсивності процесу випаривання і, як наслідок, зменшення енергозатрат, являється актуальною задачею.

**Постановка проблеми.** Великі перспективи по інтенсифікації та зниженню енергозатрат в процесі випаривання на підприємствах хімічній промисловості, пов'язані з розробкою випарних апаратів з пластинчастою гріющою камерою. Техніко-

економічні достоїнства пластинчастих теплообмінників і характерні особливості випарного апарату на їх основі відкривають шлях реалізації широкого спектра нових видів і конструкцій високоєфективних випарних апаратів з пластинчастими гріючими елементами, які мають високі коефіцієнти теплопередачі, малу металомісткість, а також підвищену гарантію надійності.

**Основна частина.** Пластинчастий випарний апарат включає (см. рис. 1): корпус 1; пластинчасту гріющу камеру 2, що містить пакет пластин 3, розташованих між зажимними плитами; штуцери подачі гріючого пара 4 і вихідного (упариваемо-

Ю. Б. Данилов, С. М. Биканов, О. О. Гапонова, А. О. Нагорний, О. І. Русинов, 2018

го) раствора 6; а также штуцеры отвода конденсата греющего пара 5, упаренного раствора 7 и вторичного пара 8. Для решения поставленной задачи необходимо выполнить в греющей камере вертикальные коллекторы для подачи греющего пара, расположенные в боковой части пакета, а вход упариваемого раствора и его выход из греющей камеры расположить с противоположных торцов пакета пластин.

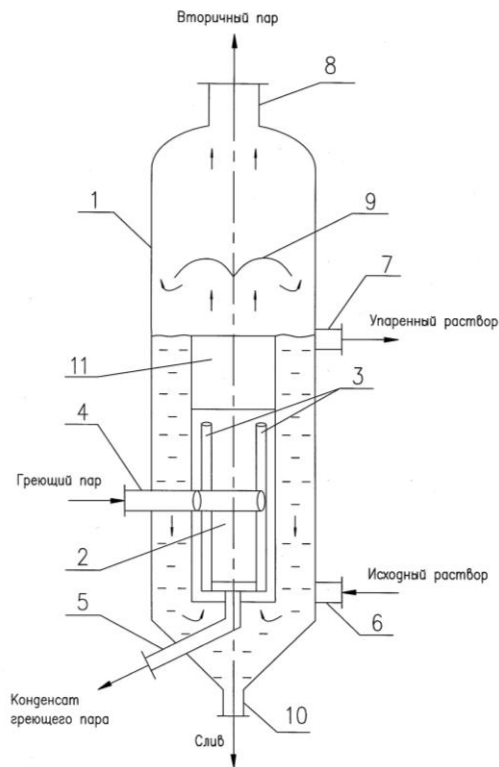


Рис. 1 – Пластинчатый выпарной аппарат с трубой вскипания и разборной греющей камерой (базовая схема)

В предпочтительном (базовом) варианте пластинчатого выпарного аппарата с вынесенной зоной кипения (см. рис. 1), аппарат снабжен трубой вскипания упариваемого раствора 11, расположенной над пластинчатой греющей камерой. При этом верхний срез трубы вскипания 11 расположен на уровне раствора в корпусе выпарного аппарата, а вход исходного (упариваемого) раствора 6 и его выход 7 расположены соответственно со стороны нижнего и верхнего торцов пакета пластин.

Кроме базового варианта могут быть предложены другие решения. В одном варианте верхняя часть греющей камеры может быть расположена в корпусе выпарного аппарата на уровне упариваемого раствора, а ее нижняя часть погружена в упариваемый раствор – аппарат с кипением раствора в межпластинчатом пространстве. В другом случае над греющей камерой располагается специальное распределительное устройство упариваемого раствора, обеспечивающее движение раствора по пластинам греющей камеры в виде нисходящей пленки, а сама греющая камера расположена в корпусе аппарата над уровнем упариваемого раствора.

Греющая камера выпарного аппарата с пластинчатой греющей камерой может быть образована попарно сваренными, преимущественно гофрированными, пластинами. Пластины снабжены боковыми коллекторами для подачи греющего пара и отвода снизу конденсата греющего пара. Греющая камера может быть выполнена разборной или сварной. Компоновка пластин разборной греющей камеры представлена на рис. 2, 5 и рис. 6. Греющая камера может быть выполнена и сварной (рис. 3, 4, 7). При этом полости для греющего пара сварены снизу и сверху, а полости, по которым движется раствор, сварены по бокам. Вверху и внизу в углы между пластинами вварены горизонтально расположенные гребенчатые планки, которые сварены с боковыми зажимными плитами с образованием коллектора для входа греющего пара и отвода из его нижней части конденсата греющего пара.

На рис. 8 показаны фрагменты экспериментального образца выпарного аппарата со сварной греющей камерой и вынесенной зоной кипения. Предложенное конструкторское решение пластинчатого выпарного аппарата позволяет значительно расширить область применения, снизить энергозатраты, металлоемкость, увеличить время работы аппарата между промывками, повысить его надежность и ремонтпригодность. Повышение уровня унификации конструкторско-технологических моделей (КТМ) позволяет увеличить партионность выпуска изделий, оптимизировать стандарты технических требований, усилить контроль качества на всех этапах производства, что стимулирует спрос на новую теплоконверсионную продукцию, эффективность которой 2÷3,5 раза выше традиционно используемого оборудования.

Представляет интерес решения по пластинчатому выпарному аппарату с многоразовым использованием тепла греющего пара и самоиспарения раствора и конденсата на каждой следующей стадии выпаривания и нагрева исходного раствора внутри аппарата вторичным теплом, что обеспечивает снижение расхода греющего пара на единицу выпаренной воды. Выпарной аппарат может найти применение в различных областях химической промышленности. В частности, его можно использовать при концентрировании растворов едкого натра, фосфорной кислоты, утилизации хлоридных стоков производств, а также в пищевой и других областях промышленности.

Сущность решения заключается в том, что пластинчатый выпарной аппарат имеет пакет пластин, расположенных между сжимающими плитами, и патрубки для подвода греющего пара и раствора, отвода упаренного раствора и конденсата (рис. 9, 10). Пакет пластин разделяется на секции ступени выпаривания, при этом каждая секция имеет три пластины (рис. 9).

Первая пластина (рис. 9, а) секции ступени выпаривания в верхней части имеет отверстия для прохода пара.

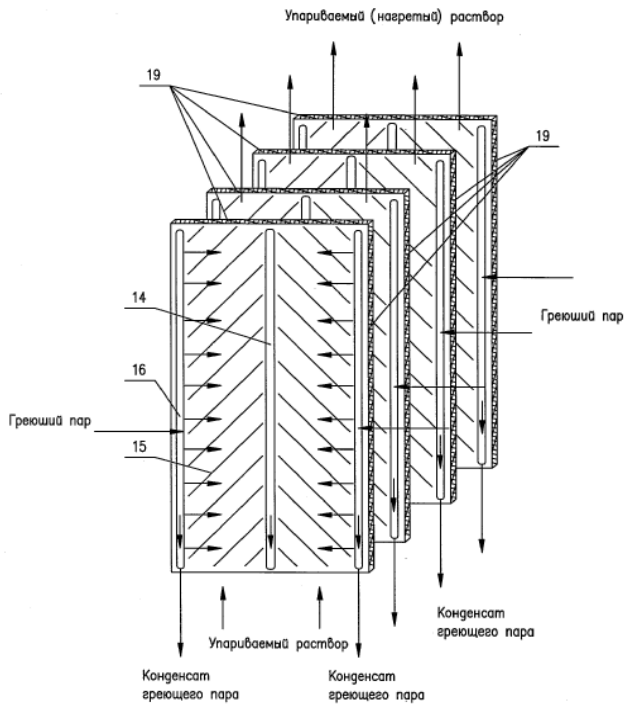


Рис. 2 – Компоновка попарно сваренных пластин разборной греющей камеры

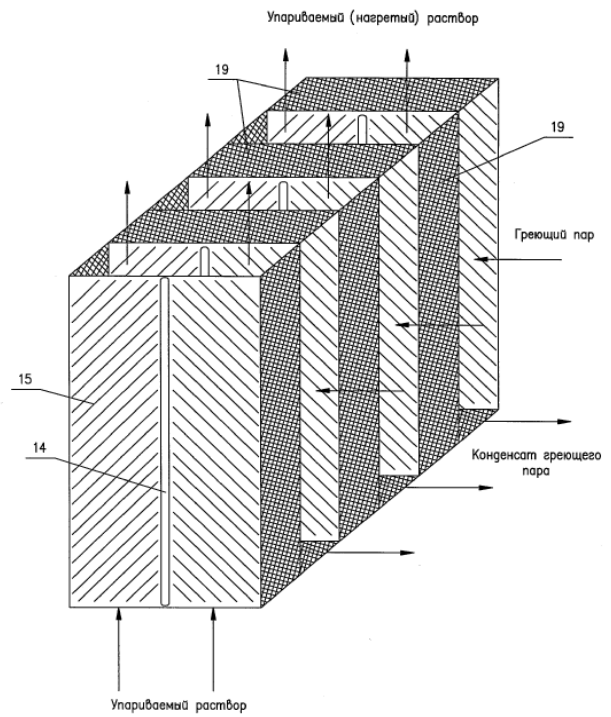


Рис. 3 – Компоновка пластин сварной греющей камеры

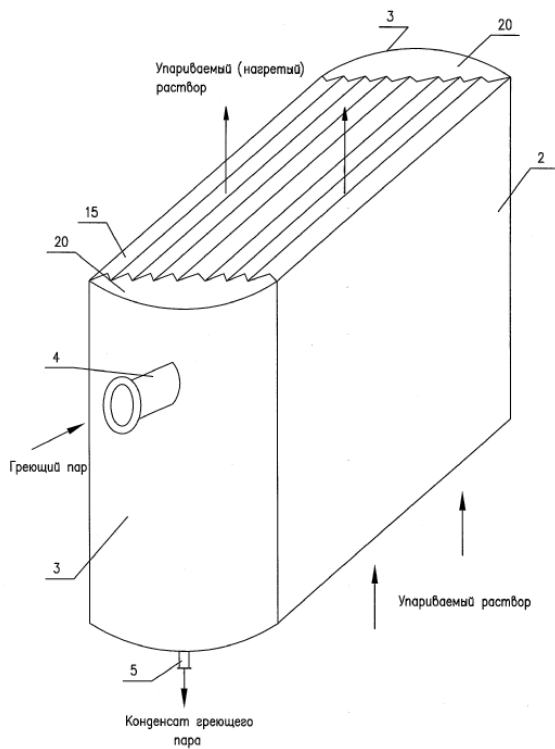


Рис. 4 – Сварная греющая камера

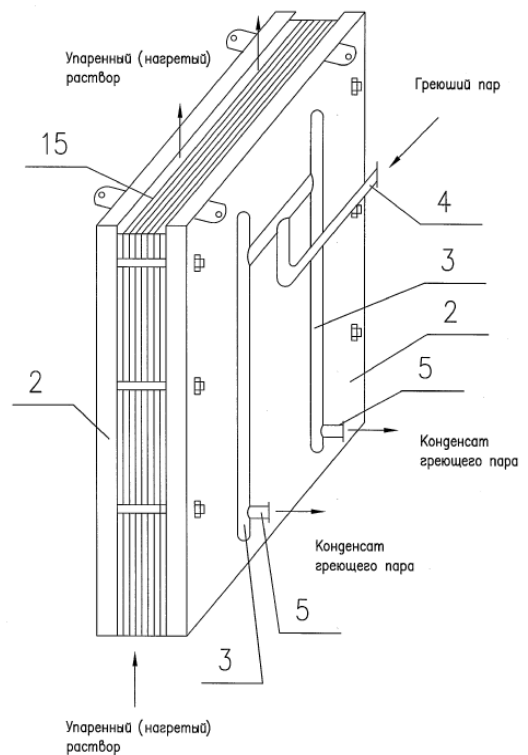


Рис. 5 – Разборная греющая камера

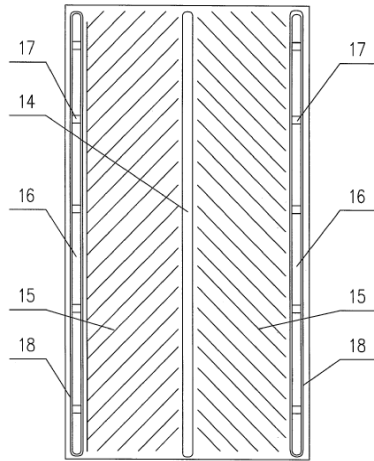


Рис. 6– Парно сваренные пластины разборной греющей камеры

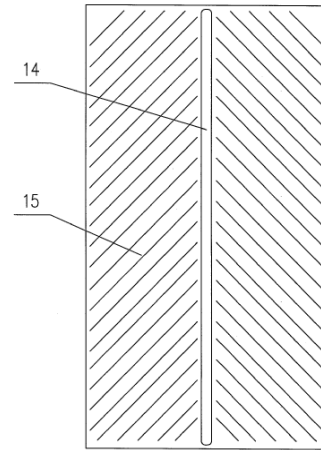


Рис. 7– Пластины сварной греющей камеры

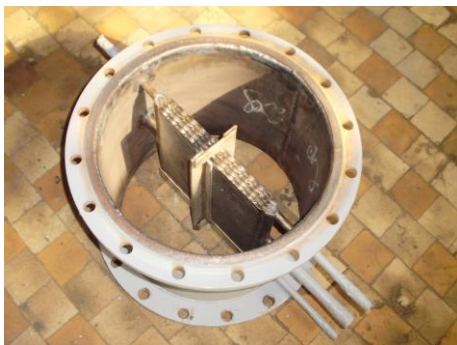


Рис. 8 – Фрагменты греющей камеры экспериментального выпарного аппарата со сварной пластинчатой греющей камерой

Ниже располагается отверстие для перетекания исходного первичного раствора и конденсата. Вторая пластина (рис. 9, б) на уровне первой пластины имеет аналогичное совмещенное отверстие для перетекания упариваемого раствора. Ниже расположены отверстия для перетекания первичного раствора и конденсата. Между собой первая и вторая пластины образуют герметичную полость для пара и конденсата.

В нижней части полости есть вход в вертикальный гидрозатворный канал конденсата. Верхняя часть гидрозатворного канала имеет во второй пластине отверстие, соединенное с герметичной полостью пара и конденсата следующей стадии выпаривания. В нижней части полости есть выход из вертикального канала конденсата, верхняя часть гидрозатворного канала

имеет во второй пластине отверстие, соединяющее с герметичной камерой. Третья пластина (рис. 9, в) в верхней части имеет отверстие для прохода пара, ниже расположены отверстия для перетекания первичного раствора и конденсата. В нижней части расположено отверстие для перетекания упариваемого раствора (рис. 9, в). Также третья пластина создает герметичные полости со второй пластиной и первой пластиной следующей секции стадии выпаривания. Данные полости соединены между собой через нижнее отверстие перетекания упариваемого раствора, а штуцер выхода конденсата вторичного пара располагается со стороны последней секции стадии выпаривания и соединен с последовательно соединенными вертикальными гидрозатворными каналами конденсата.

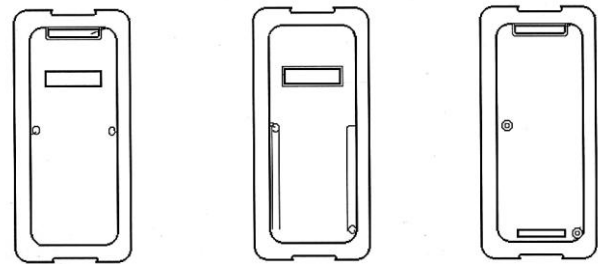


Рис. 9. Пластины секции стадии выпаривания

Компоновка пластин греющей камеры представлена на рис. 10. Штуцер входа первичного раствора расположен со стороны последней секции стадий выпаривания и последовательно соединен с герметичным каналом для прохождения первичного раствора. Отверстие в первой пластине выхода из герметичного канала первой секции ступени выпаривания не имеет герметизации и соединено с полостью перед первой секцией ступени выпаривания. После последней секции стадии выпаривания расположена пластина, которая охлаждается водой и создает с третьей пластиной следующей секции полость для конденсации пара последней секции стадии выпаривания, сбора и выхода суммарного конденсата. Для этого отверстие

перетекания конденсата третьей пластины последней секции стадии выпаривание разгерметизировано и соединено с полостью конденсации, в нижней части пластины, которая охлаждается водой, есть отверстие, соединенное со штуцером отвода конденсата вторичного пара, вторая пластина каждой секции имеет отверстие для выхода неконденсируемых газов (рис. 10).

Благодаря компоновке трех специальных пластин получается секция, в которой осуществляется перегрев раствора и его вскипание, отделение вторичного пара с направлением его на нагрев следующей секции и перетекание частично упаренного раствора на следующую ступень выпаривания (рис. 10, 11). Последовательная компоновка секций позволяет создать выпарной аппарат с многократным использованием тепла греющего пара, при этом количество секций определяет кратность использования тепла греющего пара и, соответственно, его экономию на единицу выпаренной воды.

Размещение внутри секций каналов для подачи исходного раствора на первую ступень выпаривания обеспечивает его нагрев вторичными теплоносителями до температуры кипения на первой ступени выпаривания и снижает расход тепла на нагрев исходного раствора.

Перетекание упариваемого раствора и конденсата вторичного пара из первой на следующие секции

выпаривания позволяет использовать тепло перегрева раствора и конденсата на предыдущей стадии выпаривания для выпаривания на следующих стадиях, что снижает расход греющего пара на единицу выпаренной воды.

Установка после последней секции пластины, которая охлаждается водой, позволяет более эффективно рекуперировать тепло с последней стадии выпаривания.

Наличие во второй пластине каждой секции отверстия соответствующего сечения позволяет вывести из каждой секции неконденсируемые газы, что, в свою очередь, повышает коэффициент теплопередачи (производительность аппарата), а также снизить расход пара при сдвиге неконденсируемых газов.

Суть предложенного технического решения поясняется чертежами, на которых изображено:

- три пластины одной секции стадии выпаривания, вид со стороны входа пара рис. 9;
- компоновка пластин выпарного аппарата рис. 10;
- сечение выпарного аппарата, принципиальное решение рис. 11;
- обвязка выпарного аппарата, принципиальная схема рис. 12.

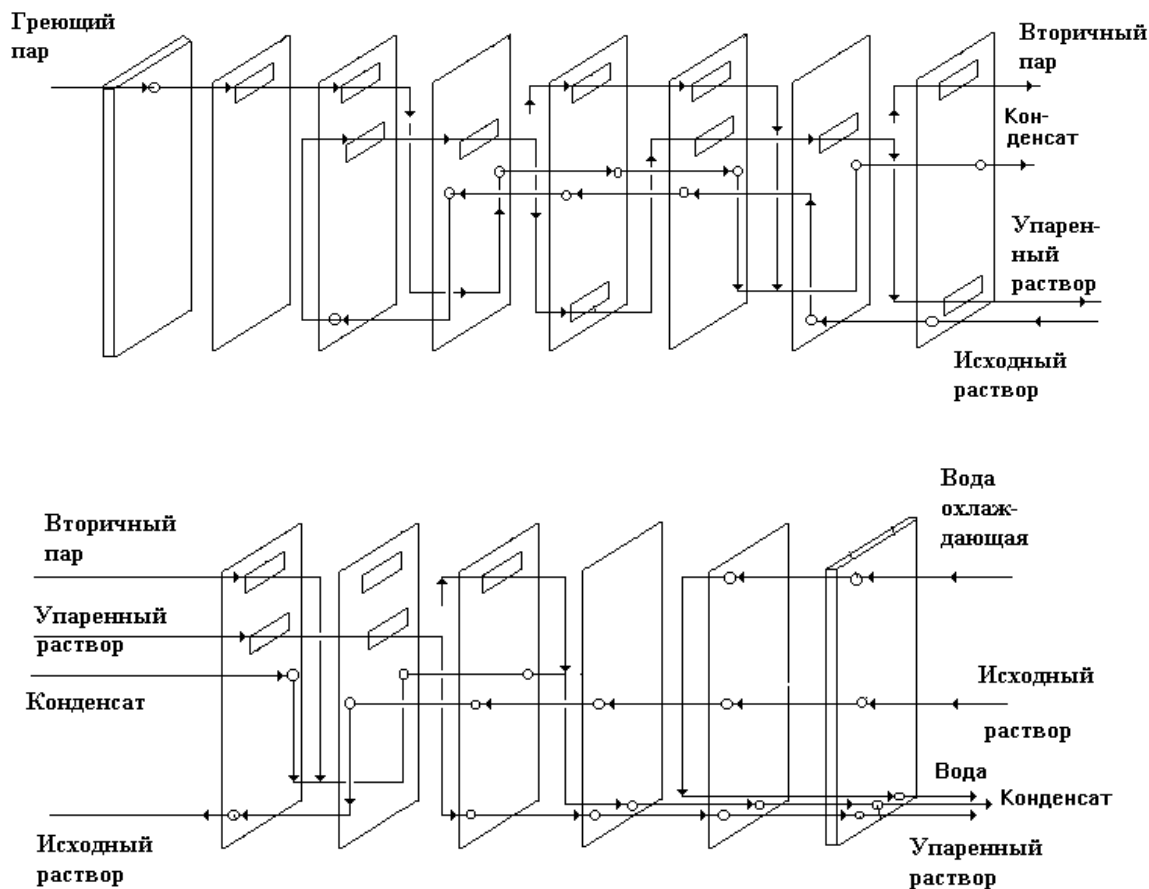


Рис. 10 – Компоновка пластин выпарного аппарата

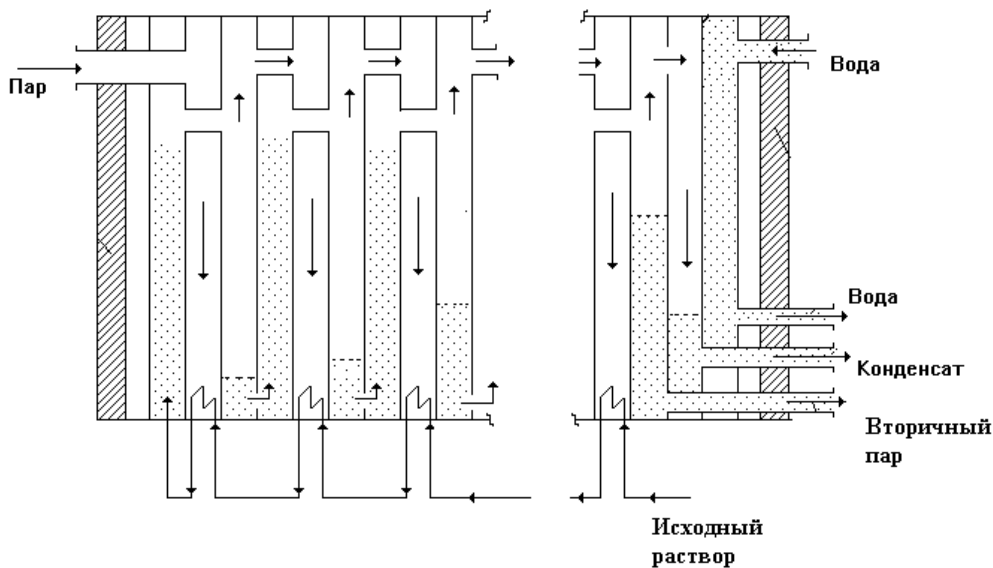


Рис. 11 – Сечение выпарного аппарата, принципиальное решение.

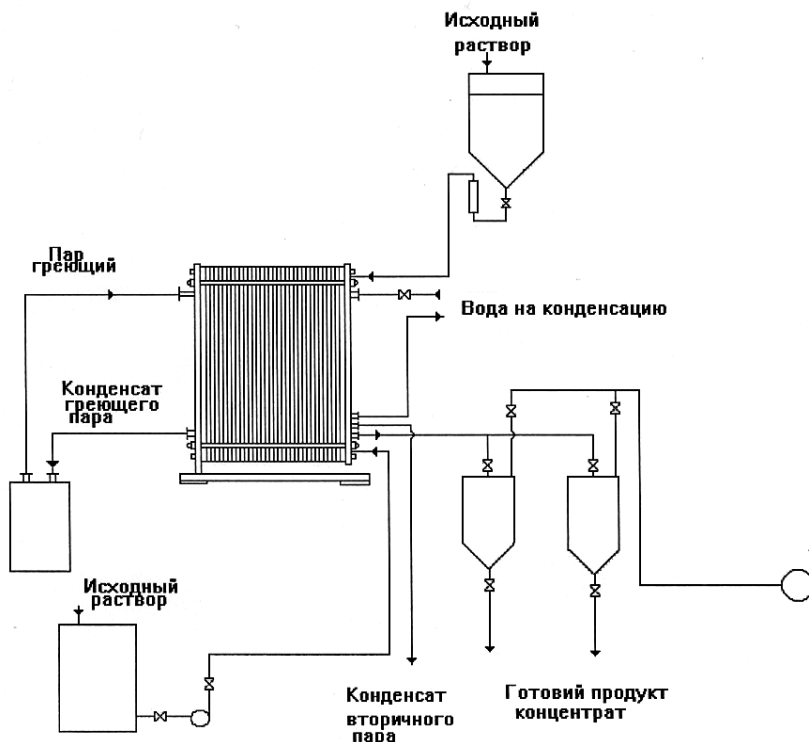


Рис. 12 – Принципиальная схема установки с выпарным аппаратом

**Выводы.** Представленные конструктивные решения по созданию новых интенсивных и энергосберегающих пластинчатых выпарных аппаратов позволяют значительно усовершенствовать процессы концентрирования растворов едкого натра, фосфорной кислоты, хлоридных стоков производств, с учетом их физико-химических характеристик, солеотложений на греющих поверхностях и коррозионной агрессивности растворов. В частности, разработаны конструкции пластинчатых выпарных аппаратов для установки утилизации хлоридных стоков Запорожского завода полупроводников. Предложенные техни-

ческие решения имеют конструктивные решения, материальное исполнение и технологию изготовления. Новизна подтверждена полученными патентами Украины и других стран.

#### Список литературы.

1. Кутепов А. М., Стерман Л. С., Стюшин Н. Г. // Гидродинамика и теплообмен при паробразовании. - Москва: Высшая школа. - 1983. 448 с.
2. Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Цыбульник В. А. Теплообмен и гидравлическое сопротивление щелевых каналах сетчато-поточного типа пластинчатых теплообменников // Издательство ВУЗов энергетика. 1980. с. 123-125.
3. Данилов Ю. Б. Течение несжимаемых жидкостей в ячейке сетчато-поточных пластинчатых теплообменника, индуцирован-

ного вихревым полем// «Интегрированные технологии та енергозбереження». Харків:НТУ «ХПІ». 2006. № 1. С. 12–17.

4. Перцев Л. П., Ковалёв Е. М., Фокин В. С. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов.-Москва. Машиностроение. 1982. 136 с.
5. Данилов Ю. Б., Фокин В. С., Данилов Д. Ю. Пластинчатый выпарный аппарат с багаторазовым використання тепла. Патент на винахід, № 76548, бюл. №8, 2006.
6. Данилов Ю. Б., Товажнянский Л. Л., Перцев Л. П. Пластинчатый выпарный аппарат. Патент на винахід, № 88836, бюл. 22, 2009.
7. V. Mihaylichenko, T. Novozhylova, D. Mihaylichenko, I. Pitak. Исследование процессов гидродинамики в выпарном аппарате с принудительной циркуляцией раствора и кипением в трубах. «Science Rise». Т. 4. 2017. с. 41–45.

#### References (transliterated)

1. Kutepov A. M., Sterman L. S., Stjushin N. G.// Gidrodinamika i teploobmen pri parobrazovanii.-Moskva: Vysshaja shkola. 1983. 448 s.
2. Tovazhnjanskij L. L., Kapustenko P. A., Cybul'nik V. A. Teploobmen i gidravlichesкое soprotivlenie v shhelevykh kanalah setchato-

potochnogo tipa plastinchatykh teploobmennikov// Izdatel'stvo VUZov jenergetika. 1980. s. 123–125.

3. Danilov Ju. B. Techenie neshzimaemykh zhidkostej v jachejke setchato-potochnykh plastinchatykh teploobmennika, inducirovannogo vihrevym polem// «Integrovani tehnologhiji ta energhozberezhennja». Kharkiv:NTU «KhPI». 2006. № 1. S. 12–17.
4. Percev L. P., Kovaljov E. M., Fokin V. S. Trubchatye vyparnye apparaty dlja kristallizujushhihsja rastvorov. Moskva. Mashinostroenie. 1982. 136 s.
5. Danylov Ju. B., Fokyn V. S., Danylov D. Ju. Plastynchatyj vyparnyj aparat z baghatorazovym vykorystannja tepla. Patent na vynakhid, № 76548, bjul. № 8, 2006.
6. Danylov Ju. B., Tovazhnjanskij L. L., Percev L. P. Plastynchatyj vyparnyj aparat. Patent na vynakhid, № 88836, bjul. 22, 2009.
7. V. Mihaylichenko, T. Novozhylova, D. Mihaylichenko, I. Pitak. Issledovanie processov gidrodinamiki v vyparnom apparate s prinuditel'noj cirkuljaciej rastvora i kipeniem v trubah. «Science Rise», Tom 4, 2017.s.41-45.

Надійшла (received) 11.11.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Данилов Юрій Борисович (Данилов Юрий Борисович, Danylov Yurii Borysovich)** – доктор технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org> ;e-mail: [danylovby@gmail.com](mailto:danylovby@gmail.com)

**Биканов Сергій Миколайович (Быканов Сергей Николаевич, Bykanov Serhii Mykolayovich)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7642-9415> ; e-mail: [sergiobyuk1980@gmail.com](mailto:sergiobyuk1980@gmail.com)

**Гапонова Олена Олександрівна (Гапонова Елена Александровна, Gaponova Olena Oleksandrivna)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [czn.ntu.hpi@ukr.net](mailto:czn.ntu.hpi@ukr.net)

**Нагорний Андрій Олегович (Нагорный Андрей Олегович, Nagorniy Andriy Olegovich)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [nagorniy@profkom-khpi.org](mailto:nagorniy@profkom-khpi.org)

**Русінов Олександр Іванович (Русинов Александр Иванович, Rusinov Alexandr Ivanovych)** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [supre-santa@mail.ru](mailto:supre-santa@mail.ru)