

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING
COMMISSIONING OF EQUIPMENT
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 551.508.72:621.311.25

<https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-05>

EDN DNNWVC

Оригинальная статья / Original paper



Испаритель со стабилизацией горизонтальной плоскости воды

А.Н. Шилин  , Л.А. Коновалова , М.А. Богале 

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация
eltech@vstu.ru

Аннотация. Испарение играет важную роль в поддержании водного баланса и управлении водными ресурсами в водохранилищах. Эта проблема актуальна в жарких регионах с недостатком пресной воды. Ко всему прочему, надежное функционирование испарителей играет важную роль в предотвращении перегрева и обеспечении безопасного охлаждения реакторов, что является критическим фактором для поддержания ядерной безопасности. Полный контроль и точное измерение процесса испарения, обеспечиваемые разработанным устройством, позволяют эффективно управлять водными ресурсами, обеспечивая стабильность работы атомных электростанций и минимизируя риски для окружающей среды. Для контроля процесса испарения в водохранилищах применяются испарители. На основе проведенного анализа существующих испарителей и их недостатков был разработан испаритель со стабилизацией горизонтальной плоскости в поддоне. Благодаря этой функции разработанное устройство позволяет контролировать процесс испарения с более высокой точностью за счет уменьшения колебаний уровня воды в испарителе. Разработанное устройство содержит автономный блок питания, использующий энергосберегающую технологию на основе солнечной батареи, что обеспечивает работу без дополнительных источников. Использование такого блока питания позволяет повысить надежность работы испарителя. Одним из важных преимуществ этого устройства является использование канала передачи информации на диспетчерский пункт на основе сотовой связи, что позволяет оперативно передавать результаты контроля испарения и соответственно принимать решения по управлению водными ресурсами. Кроме того, использование системы навигации GPS позволяет точно задавать или определять координаты установки испарителя в водохранилище. Разработанное устройство может быть включено в интеллектуальную систему управления энергетическими ресурсами, его использование значительно повысит безопасность и устойчивость атомных электростанций путем улучшения контроля процесса испарения. Также оптимизирует работу атомных электростанций, способствует эффективному управлению водными ресурсами и обеспечит безопасность в области ядерной энергетики.

Ключевые слова: испарение, устройство для контроля испарения, испаритель, поддон испарителя, водная поверхность, уровень воды, водный баланс, скорость испарения, управление водными ресурсами, измерение испарения.

Для цитирования: Шилин А.Н., Коновалова Л.А., Богале М.А. Испаритель со стабилизацией горизонтальной плоскости воды. *Глобальная ядерная безопасность*. 2024;14(1):37–42. <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-05>

For citation: Shilin A.N., Konvalova L.A., Bogale M.A. Evaporator with horizontal water plane stabilization. *Global nuclear safety*. 2024;14(1):37–42 (In Russ.) <https://doi.org/10.26583/gns-2024-01-05>

Evaporator with horizontal water plane stabilization

Alexander N. Shilin  , Lyudmila A. Konvalova , Muluken A. Bogale 

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
eltech@vstu.ru

Abstract. Evaporation plays an important role in maintaining water balance and managing water resources in reservoirs. This problem is relevant in hot regions with a lack of fresh water. In addition, reliable operation of evaporators plays an important role in preventing overheating and ensuring safe cooling of reactors which is critical to maintaining nuclear safety. The complete control and accurate measurement of the evaporation process provided by the developed device enables efficient water management ensuring the stability of nuclear power plants and minimising environmental risks. Evaporators are used to control the evaporation process in reservoirs. Based on the analysis of existing evaporators and their shortcomings, an evaporator with horizontal plane stabilization in the pan is developed. Due to this function the developed device allows to control the evaporation process with higher accuracy by reducing fluctuations in the water level in the evaporator. The developed device contains an autonomous power supply that uses energy-saving technology based on a solar battery which ensures operation without additional sources. The use of such a power supply increases the evaporator reliability. One of the important advantages of this device is the use of a cellular-based information transmission channel to the control center which allows to transmit the results of evaporation quickly monitoring and make water manage-

ment decisions accordingly. In addition, the use of a GPS navigation system allows to set or determine the coordinates of the evaporator installation in the reservoir accurately. The developed device can be included in an intelligent energy resource management system; its use will significantly improve the safety and sustainability of nuclear power plants by improving evaporation process control. It will also optimize the nuclear power plants operation, promote efficient management of water resources and ensure safety in the nuclear energy field.

Keywords: evaporation, evaporation control device, evaporator, evaporator tray, water surface, water level, water balance, evaporation rate, water management, evaporation measurement.

Введение

Одной из основных проблем на планете в настоящее время является жизнеобеспечение населения водными ресурсами, необходимо отметить, что в связи с потеплением на планете эта проблема становится все более актуальной. Эта проблема может быть решена более рациональным распределением водных ресурсов в водохранилищах, которые могут быть в составе различных технических систем: атомных станций, гидроэлектростанций, накопителей для гидромелиорации и др. Однако управление водными ресурсами водохранилищ и, особенно гидроэлектростанций, является довольно сложной задачей, поскольку необходим контроль и прогнозирование баланса водных ресурсов. Баланс водных ресурсов зависит от большого количества факторов: от метеорологических и гидрологических условий, объемов потребления водных ресурсов и электроэнергии населением, промышленностью, сельским хозяйством и требованиями экологии. Алгоритм системы управления гидроэлектростанцией обычно разрабатывается на основе предыдущих метеорологических и гидрологических условий и информации о задержке и текущем уровне воды в водохранилище. В зависимости от уровня воды и прогнозов ее поступления принимаются решения о досрочном сбросе воды, который позволяет избежать риска наводнений в районах ниже по течению. Уровень воды в водохранилище определяет выходную мощность гидроэлектростанции и безопасность атомных станций. Точное прогнозирование уровня воды в водохранилище гидроэлектростанции позволяет планировать выработку и стабильно снабжать потребителей электроэнергией. Необходимо отметить, что точно прогнозировать уровень воды в водохранилище является сложной задачей, так как гидротехническое сооружение представляет собой протяженный объект, на который воздействует большое количество различных случайных и непредсказуемых факторов. Поэтому для решения этой проблемы необходимо использовать соответствующий метод прогнозирования. В качестве такого метода целесообразно применять нейронные сети, которые успешно применяются при решении подобных задач. Для нормальной работы системы управления уровнем воды в водохранилище необходимо оснащение системы датчиками прихода и расхода водных ресурсов. В настоящее время существует большое количество разработанных датчиков: уровнемеров, расходомеров, климатических камер и др. Испарение является важным фактором водного баланса, но на отечественном рынке испаритель представлен очень скромно, причем одной конструкции, имеющей недостатки. В зарубежных источниках

представлены различные конструкции испарителей без сравнительного анализа, который позволял бы обоснованно выбрать вариант конструкции для конкретной задачи. Поэтому необходимо провести анализ основных конструкций испарителей и выявить тенденцию их развития. Если из существующих конструкций нет варианта, удовлетворяющего условиям технического задания, то необходимо разработать новый испаритель.

Анализ существующих методов и средств контроля испарений

Для поддержания водного баланса в водохранилище необходимо периодически получать информацию об испарении с водной поверхности. Величина испарения зависит от факторов – температуры воздуха и подстилающей поверхности, скорости ветра, влажности воздуха, осадков и др. Информация об испарении с водной поверхности, полученная с помощью испарителей, позволяет получить данные о потерях воды в реальных водохранилищах. Поэтому проведен анализ существующих методов и средств оценки испарения.

Самый простой метод заключается в том, что воду заливают в испарительный поддон, установленный рядом с оцениваемым водоемом. По мере испарения воды из поддона проводятся измерения уровня для определения скорости испарения. Однако данный метод имеет ряд недостатков. Во-первых, температура воды внутри поддона может быть выше, чем температура воды в оцениваемом водоеме, что приводит к завышению испарения. Также, растительность, характер ветра, тип почвы и содержание влаги на суше сильно влияют на скорость испарения.

Один из методов, разработанный для решения этой проблемы, заключается в размещении испарительного поддона в измеряемом водоеме путем размещения поддона на плоту, закрепленном веревками, привязанными с помощью якоря или груза к земле или донному осадку. Однако данный метод имеет ограниченную точность. Поскольку плот обычно изготавливается из дерева или пластика, эти материалы поглощают тепло и передают его в поддон/воду, повышая температуру воды в поддоне выше, чем в водоеме. Кроме того, плот поднимает поддон, так что уровень воды в поддоне выше, чем в оцениваемом водоеме, что так же отрицательно влияет на точность определения скорости испарения. Кроме того, прикрепление веревки к одной стороне плота приводит к наклону плота и поддона в одном направлении, что является источником погрешности измерения уровня воды в поддоне.

Существующие испарители и испарительные бассейны имеют разные формы и размеры, так, например, в России испарительный бассейн площадью 20 м² рекомендуется использовать в международных стандартах в качестве эталонного испарителя [1]. В бассейне устанавливается испаритель, который представляет собой бак (рис. 1), изготовленный из оцинкованного листового железа, центре которого находится реперная трубка. На эту трубку надевается объемная бюретка для наблюдения. Укрепленная на реперной трубке коленчатая игла служит указателем высоты, на которой поддерживается уровень воды в испарителе. Испаритель устанавливается в бассейне таким образом, чтобы верхние края бака находились на высоте 7,5 см над поверхностью окружающей почвы. Кроме того, для исключения влияния на точность регистрации испарения измеряется количество атмосферных осадков, уловленных дождемером, с помощью мерного стакана.

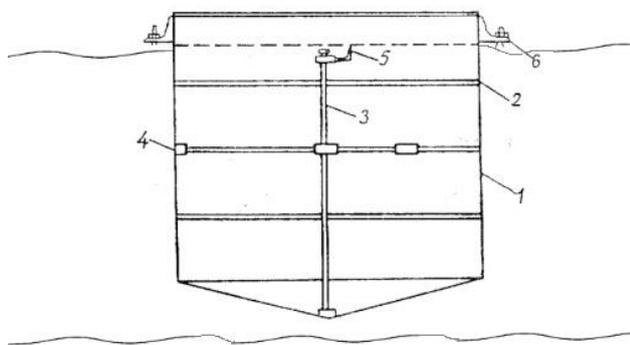


Рисунок 1. Испаритель ГГИ-3000: 1 – цилиндрический корпус с конусным дном; 2 – кольца; 3 – реперная трубка; 4 – распорки; 5 – указательная игла; 6 – ушко [1]

Figure 1. Evaporator GGI-3000: 1 – cylindrical body with a conical bottom; 2 – rings; 3 – reference tube; 4 – spacers; 5 – index needle; 6 – eyelet [1]

Кроме измерений уровня воды в испарителе и количества осадков в дождемере, также проводятся наблюдения за гидрометеорологическими параметрами (температура воды в поверхностном слое испарителя, температура и влажность воздуха, скорость ветра и другие параметры внешних факторов). Показания этого прибора соответствуют испарениям в бассейне. Недостатками прибора являются: невозможность учета обратной стратификации температуры воды в поверхностном слое испарителя (эффект «холодной пленки»), инерционность прибора и отсутствие волнения в испарителе при наличии его на водоеме, что приводит к занижению массоотдачи на 20–30%. Кроме того, испарительный бассейн может быть установлен на расстоянии от места водоема, где необходим контроль испарения, что является источником дополнительной погрешности.

Известно устройство контроля испарения с регулируемым плавающим поддоном для выпаривания открытой воды (рис. 2) [2].

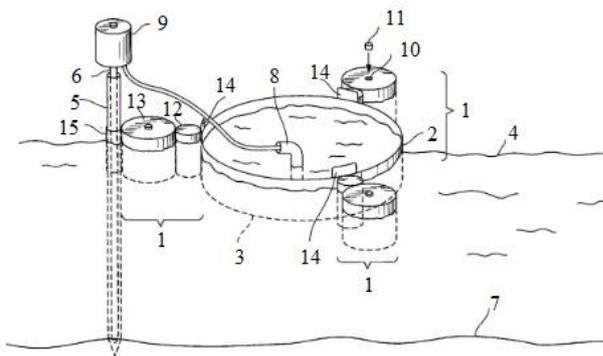


Рисунок 2. Регулируемый плавающий поддон для выпаривания открытой воды: 1 – поплавковые узлы; 2 – наружные стенки; 3 – испарительный поддон; 4 – поверхность водоема; 5 – анкерный узел; 6 – жесткая стойка; 7 – донный осадок; 8 – охлаждающий колодец; 9 – измерительное устройство; 10 – отверстие; 11 – пробки; 12, 13 – поплавки; 14 – брызговики; 15 – полый цилиндр [2]

Figure 2. Adjustable floating tray for open water evaporation: 1 – float units; 2 – outer walls; 3 – evaporation tray; 4 – reservoir surface; 5 – anchor unit; 6 – rigid stand; 7 – bottom sediment; 8 – cooling well; 9 – measuring device; 10 – hole; 11 – plugs; 12, 13 – floats; 14 – mudguards; 15 – hollow cylinder [2]

В устройстве имеется, по меньшей мере, три поплавковых узла 1, прикрепленных под углом 120 градусов вокруг внешних стенок испарительного поддона 3. Предпочтительно, чтобы каждый поплавковый узел 1 состоял из двух поплавков 12, 13, хотя изобретение может работать, если поплавковый узел 1 содержит один поплавок. Поплавковые узлы 1 содержат, по меньшей мере, часть, которая является полую. Отверстие 10 в верхней части поплавков 13 позволяет добавлять материал или субстанцию в полую часть поплавков 13. Добавление материала к поплавкам 13 позволяет регулировать плавучесть без замены поплавков. В полость поплавков может быть введен любой легкодоступный материал, причем вода предпочтительнее из-за ее веса и близости. Колпачок или пробка 11 могут быть вставлены в отверстие 10 после того, как желаемое количество материала введено в поплавок 13. Внутренний поплавок 12 прикреплен к наружным стенкам 2 испарительного поддона 3. Точка крепления между поплавками 12 и стенками 2 определяется для поддержания испарительного поддона 3 в ровном положении по отношению к поверхности 4 оцениваемого водоема.

Таким образом, если три поплавковых узла 21 используются, то их располагают на равном расстоянии друг от друга по периферии испарительного поддона 3. Анкерный узел 5 используется для поддержания положения испарительного поддона 3 в водоеме. Анкерный узел 5 содержит жесткую стойку 6, которая вбивается в донный осадок 7 водоема. Стойка 6 прикреплена с возможностью вращения к одному из поплавков 1, так что испарительный поддон 3 мог вращаться вокруг стойки 6, если на него действуют такие условия, как ветер или течение. Точка крепления между стойкой 6 и поплавковым узлом 1 противоположна точке крепления между поплавковым узлом 1 и

поддоном 3 для обеспечения равномерного, сбалансированного вращения.

Конструкция данного изобретения работает следующим образом, к дну испарительного поддона 3 прикреплен охлаждающий колодец 8. Охлаждающий колодец 8 представляет собой трубообразное приспособление с небольшим отверстием в нижней части трубы, гидрологически соединяющее воду внутри охлаждающего колодца с водой снаружи колодца, что позволяет поддерживать уровень воды внутри испарительного поддона 3. Охлаждающий колодец 8 должен быть равен уровню воды внутри поддона 3. Охлаждающий колодец 8 гасит небольшие волны давления, создаваемые условиями окружающей среды, которые могут повлиять на точность расчета скорости испарения. Если в настоящем изобретении используется колодец 8, измерительное устройство 9 будет вставлено в колодец 8 для измерения уровня воды. Эти устройства известны в данной области техники и включают в себя датчик давления, датчик положения поплавка и вала или штатный датчик. Колодец 8 может быть изготовлен из любого материала, который выдерживает воду. Например, труба из ПВХ. Брызговики 14 могут быть использованы между поплавковыми узлами 1 и испарительным поддоном 3, чтобы гарантировать, что вода не выплескивается с поверхности 4 в испарительный поддон 3. Эти ограж-

дения 14 должны проходить над верхней частью поплавковых узлов 1 и верхней кромкой испарительного поддона 3 и предпочтительно должны быть изготовлены из материала, аналогичного поплавковым узлам 1 или поддону 3.

Однако этому испарителю присущи недостатки, он эффективен только в условиях низкой волны, например, на водно-болотных участках или маленьких прудах. Воздействие волн, создаваемых ветром и человеком, вызывает покачивание поддона, что отрицательно негативно влияет на высоту жидкости внутри поддона и соответственно на устройства регулирования воды в поддоне и измерения испарения. Покачивание поддона может вызывать волны внутри поддона, которые могут перекрестываться через борт поддона, что снижает точность измерительной системы. Кроме того, волны внутри поддона увеличивают площадь соприкосновения поверхности воды с атмосферой и тем самым увеличивают интенсивность испарения.

Из вышеизложенного следует, что данное устройство не может обеспечить точную скорость испарения. Поэтому было разработано измерительное устройство со стабилизацией горизонтальной поверхности воды в поддоне (рис. 3).

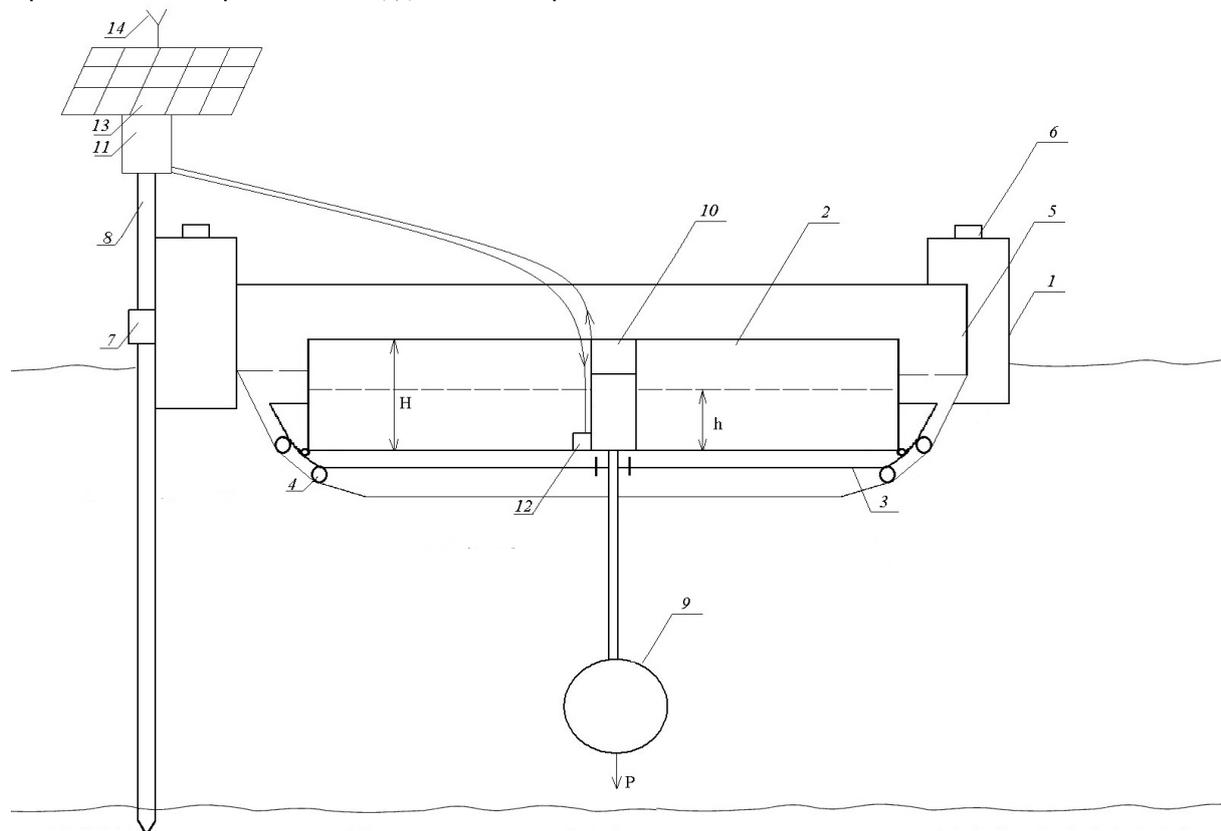


Рисунок 3. Испаритель со стабилизацией горизонтальной плоскости испарителя: 1 – корпус; 2 – испаритель; 3 – чашеобразная тарелка; 4 – шариковые подшипники; 5 – поплавковые узлы; 6 – пробка; 7 – направляющая; 8 – анкерный узел; 9 – груз; 10 – датчик уровня; 11 – блок; 12 – клапан; 13 – солнечная батарея; 14 – антенна [составлен авторами]

Figure 3. Evaporator with horizontal evaporator plane stabilization: 1 – body; 2 – evaporator; 3 – bowl-shaped plate; 4 – ball bearings; 5 – float assemblies; 6 – plug; 7 – guide; 8 – anchor assembly; 9 – load; 10 – level sensor; 11 – block; 12 – valve; 13 – solar battery; 14 – antenna [compiled by the authors]

Устройство включает в себя корпус 1 испарительного поддона с чашеобразным дном, в котором установлен испаритель 2, закрепленный в чашеобразной тарелке 3 с возможностью двух координатного перемещения в пространстве относительно вертикальной оси внутри корпуса 1. Для уменьшения силы трения свободное угловое перемещение осуществляется в шариковых подшипниках 4. К корпусу 1 вокруг внешних стенок прикреплены три поплавковых узла 5, расположенные по периметру с шагом 120°. Каждый поплавок узел 5 содержит пробку 6, через которую в камеру вливается балансный материал для регулирования уровня погружения корпуса 1 в воду. К одному из поплавков прикрепляется направляющая 7 для связи с анкерным узлом 8. К испарительной камере закреплен шарообразный груз 9, обеспечивающий горизонтальное положение жидкости в камере. Кроме того, шарообразный груз 9 в воде выполняет функцию демпфера-успокоителя колебаний (покачивания) поддона. Груз в жидкости обеспечивает вязкое трение, пропорциональное скорости перемещения. В поддоне также закреплен датчик уровня 10, который соединен с входом блока управления 11, а выход этого блока соединен с клапаном 12. Устройство содержит солнечную батарею 13, которая обеспечивает питание системы управления и клапана, и модем сотовой связи с антенной 14 для передачи информации на диспетчерский пункт.

Работает устройство следующим образом, при установке в водохранилище клапан 12 открывается с помощью схемы измерения и управления 11 и заполняется водой через отверстие в днище корпуса 1 и тарелки 3 до уровня водоема, затем клапан 12 закрывается и система работает. При испарении уровень воды понижается и регистрируется датчиком уровня 10. Как только уровень воды опускается ниже задан-

ного, регистрируется потеря жидкости от испарения и в это время дается команда на заполнение, клапан открывается и снова заливается необходимый объем жидкости.

Заключение

Испарение с водной поверхности является важным фактором, который необходимо учитывать при управлении водными ресурсами, особенно в регионах с ограниченным доступом к пресной воде. Разработанное устройство позволяет контролировать уровень воды и заполнять его при необходимости, обеспечивая более эффективное использование водных ресурсов.

Основные преимущества разработанного устройства:

1) контроль и точное измерение процесса испарения при помощи разработанного устройства позволяют эффективно управлять водными ресурсами и обеспечивать стабильную работу атомных электростанций; 2) повышение надежности устройства за счет использования автономного питания, использующего энергосберегающую технологию на основе солнечной батареи;

3) внедрение разработанного испарителя с технологией энергосбережения на основе солнечной батареи способствует повышению эффективности и устойчивости атомной отрасли;

4) применение канала связи на основе сотовой связи и системы навигации GPS для передачи информации о процессе испарения на диспетчерский пункт позволяет оперативно принимать решения по управлению водными ресурсами и обеспечивает точное определение координат установки испарителя в водохранилище.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Научно-прикладной справочник: Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети. СПб.: ООО «РИАЛ», 2021. 64 с. EDN: MDFFKJ. ISBN: 978-5-907276-32-1. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_47932585_53343484.pdf (дата обращения: 12.12.2023).

Scientific and applied handbook: Multiyear evaporation changes in the European territory of Russia according to the data of water-evaporation network. St. Petersburg: LLC «RIAL». 2021. 64 p. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_47932585_53343484.pdf (accessed: 12.12.2023).

2. Masoner J.R., Christenson S.C. Adjustable floating open-water evaporation pan. Patent 7,162,923v US11/122 202. US7162923B1 United States. Application US11/122,202 events 04.05.2005. Publication of US7162923B1 16.01.2007. Available at: <https://patents.google.com/patent/US7162923B1/en?inventor=Jason+Robert+Masoner> (accessed: 21.12.2023).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Шилин А.Н. – идея и концепция испарителя со стабилизацией горизонтальной плоскости воды, постановка задач, научное руководство;

Коновалова Л.А. – исследование и анализ существующих методов, изучение влияния различных параметров на производительность испарителя;

Богале М.А. – анализ действия испарителя со стабилизацией горизонтальной плоскости воды.

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Shilin A.N. – idea and concept of an evaporator with horizontal water plane stabilization, task setting, scientific guidance;

Konovalova L.A. – research and analysis of existing methods, study of the influence of various parameters on the performance of the evaporator;

Bogale M.A. – analysis of the action of the evaporator with horizontal water plane stabilization.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Работа выполнена без внешних источников финансирования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликта интересов нет.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Александр Николаевич Шилин, доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация.

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6416-4357>

e-mail: eltech@vstu.ru

Людмила Александровна Коновалова, старший преподаватель, аспирант кафедры «Электротехника» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3844-574X>

e-mail: mila27121989@mail.ru

Мулукен Асамнеу Богале, аспирант кафедры «Электротехника» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4389-815X>

e-mail: mulem2as1977@gmail.com

FUNDING:

The study had no external funding.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Alexander N. Shilin, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Department of Electrical Engineering, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6416-4357>

e-mail: eltech@vstu.ru

Lyudmila A. Konovalova, Senior Lecturer, postgraduate student, Department of Electrical Engineering, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3844-574X>

e-mail: mila27121989@mail.ru

Muluken A. Bogale, Postgraduate student, Department of Electrical Engineering, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4389-815X>

e-mail: mulem2as1977@gmail.com

Поступила в редакцию 18.01.2024

После доработки 26.02.2024

Принята к публикации 29.02.2024

Received 18.01.2024

Revision 26.02.2024

Accepted 29.02.2024