

## ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИСТИЛЛЯЦИОННЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

© 2018 И.Г. Бедрин

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 06.12.2018

В данной статье рассматривается проблема повышения энергетической эффективности дистилляционных опреснительных установок (ДОУ) с паровым компрессором (установки вакуумные выпарные паровой компрессор, - УВВ). Предложены варианты доработки разрабатываемой УВВ, посредством более полного использования энергии пара (в идеальном случае энергия пара используется только для испарения исходной воды, а не тратится так же на ее предварительный подогрев). Выполнен поиск скрытых источников тепла, для предварительного подогрева исходной воды. Приведены конструктивные схемы опытных установок с разнообразным подводом тепла. Также рассмотрены альтернативные пути повышения энергетической эффективности. Сделаны выводы по выбору наиболее производительных и перспективных способов повышения энергетической эффективности установок вакуумных выпарных. *Ключевые слова:* энергетическая эффективность, опреснительная установка, паровой компрессор.

### ВВЕДЕНИЕ

За стремлением понизить себестоимость производства пресной воды последовало требование повышения энергоэффективности опреснительных установок. Установки с использованием парового компрессора (рисунок 1) обладают наибольшей среди выпарных энергоэффективностью. Однако их использование целесообразно только тогда, когда отсутствует внешний подвод тепла.

Добиться повышения эффективности опреснительного процесса возможно за счет утилизации тепла, выделяемого элементами установки, для подогрева исходной воды, и использования альтернативных способов повышения давления пара для первой ступени.

В предлагаемой установке температура исходной воды, проходящей через теплообменники предварительного подогрева, составляет 59 °С. Для оптимального функционирования первой ступени опреснительной установки, в нее необходимо подавать исходную воду с температурой 70 °С. Это необходимо для того чтобы энергия пара использовалась только для испарения исходной воды, а не тратилась так же на ее подогрев. Для обеспечения возможности такой работы предлагается использовать тепло блока вакуумирования и блока пароконпрессора, как совместно, так и индивидуально.

### УСТАНОВКИ С РАЗНЫМИ СХЕМАМИ ОТБОРА ТЕПЛА

В емкости блока вакуумирования находится 100 литров исходной воды, температура кото-

*Бедрин Игнатий Геннадьевич, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей. E-mail: bedrin.ig@mail.ru*

рой во время работы повышается за счет подвода энергии от эжектируемой паровоздушной смеси (имеющей повышенную температуру) и подвода механической энергии от насоса эжектируемой жидкости (исходной воды). Схема установки с реализацией данного решения представлена на рисунке 2.

В узле парового компрессора находится несколько источников тепла, а именно мультипликатор (масло, смазывающее и охлаждающее мультипликатор, может иметь высокий нагрев во время работы) и электродвигатель. Масло из мультипликатора охлаждается в теплообменнике с исходной водой, которая сбрасывается в дренаж. На рисунке 3 представлена схема с охлаждением масла мультипликатора исходной водой, поступающей в первую ступень, которая тем самым повышает свою температуру.

Аналогично можно использовать тепло от электродвигателя блока парового компрессора. Схема установки с подводом тепла от электродвигателя представлена на рисунке 4.

Оценку энергетического потенциала следует проводить согласно следующему алгоритму. Для этого сначала определим количество теплоты, необходимое для подогрева исходной воды в первой ступени [1, 2]:

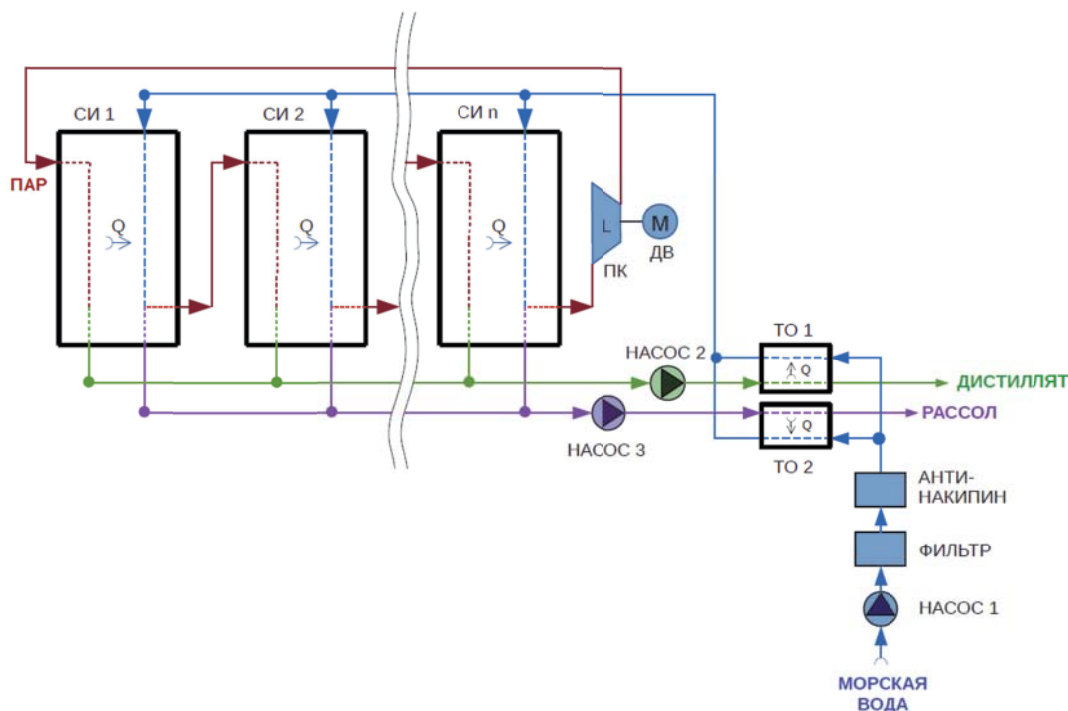
$$Q = c_{исх} \cdot G_{исх} \cdot (t_{кип} - t_{исх}),$$

где  $c_{исх}$  – теплоемкость исходной воды;  $G_{исх}$  – расход исходной воды;  $t_{исх}$  – температура исходной воды;  $t_{кип}$  – температура кипения в первой ступени.

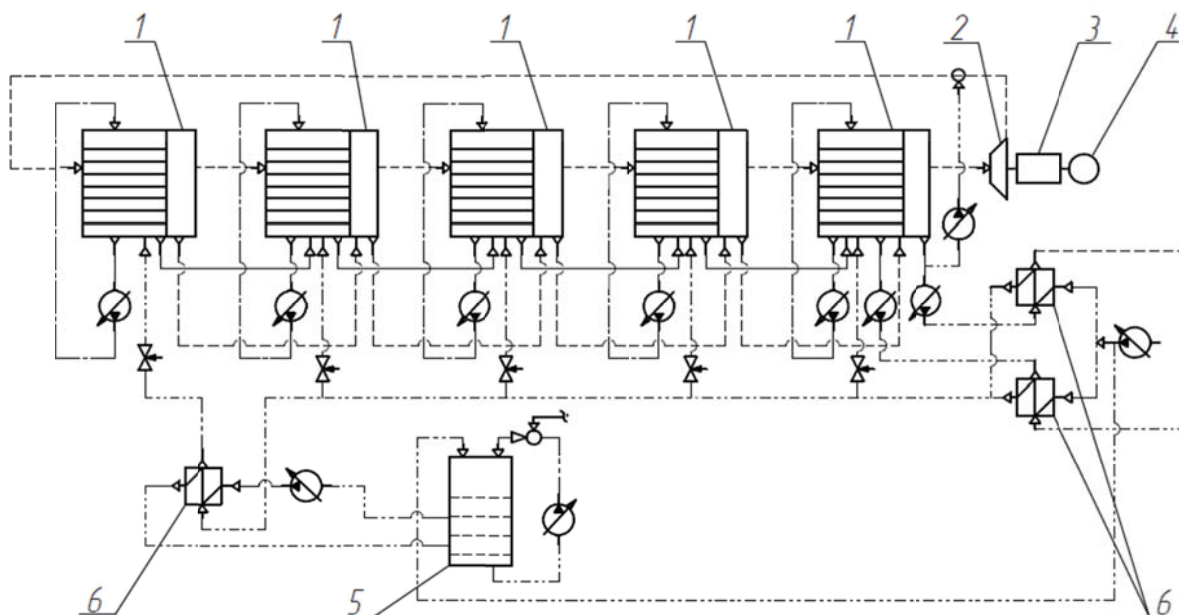
Далее определяется количество теплоты, которое передает насос рабочей воде эжектора:

$$Q = (1 - \eta_n) \cdot N_{исх}.$$

Для насоса Grundfos CRNE 5-12 A-FGJ-A-E-HQQE, который предполагается использовать в экспериментальной установке, значение мощно-



**Рис. 1.** Принципиальная схема дистилляционной выпарной опреснительной установки:  
СИ – ступень испарителя; ПК – парокomppressor; ДВ – электродвигатель; ТО – теплообменник



**Рис. 2.** Схема установки с подводом тепла от блока водозежктора:  
1 – ступень испарителя; 2 – парокomppressor; 3 – мультипликатор;  
4 – электродвигатель; 5 – блок водозежкции; 6 – теплообменник

сти равно 3 кВт, а КПД – 0,86 [3]. Тогда теплота, которую выделяет насос в рабочую воду, равна 420 Вт.

Приблизительно тепловыделение двигателя можно определить по таблице 1 [4].

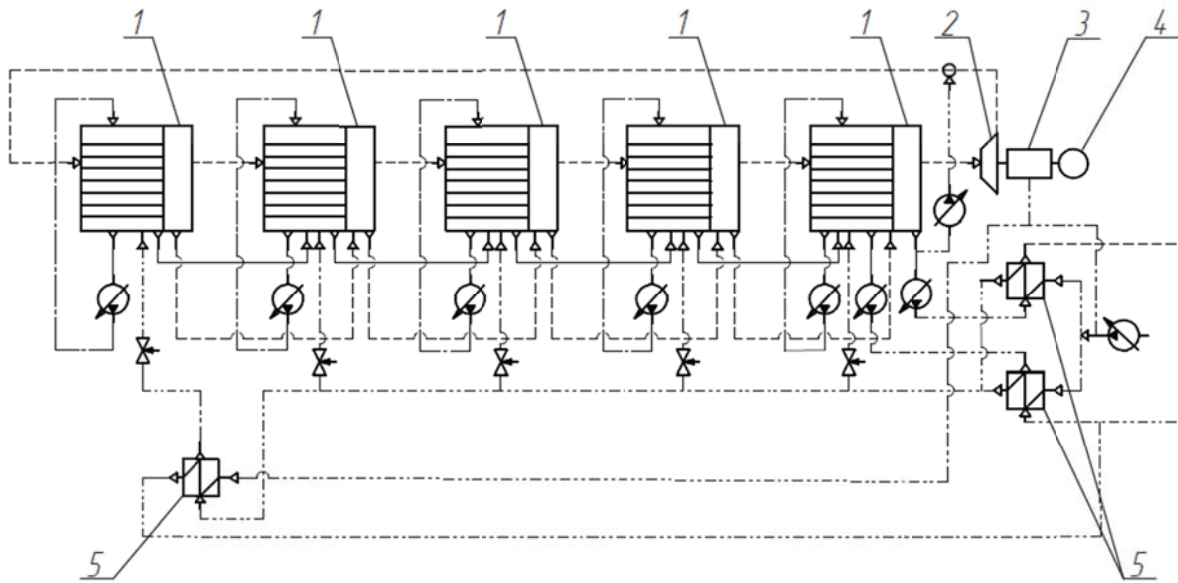
В качестве привода для блока парокompпрессора используется асинхронный двигатель АИР 160М2 [5] мощностью 18,5 кВт. Тогда согласно таблице 1 величина тепловыделения составит 1,85 кВт.

Тепловыделение зубчатых передач, из которых состоит мультипликатор, определяется согласно выражению

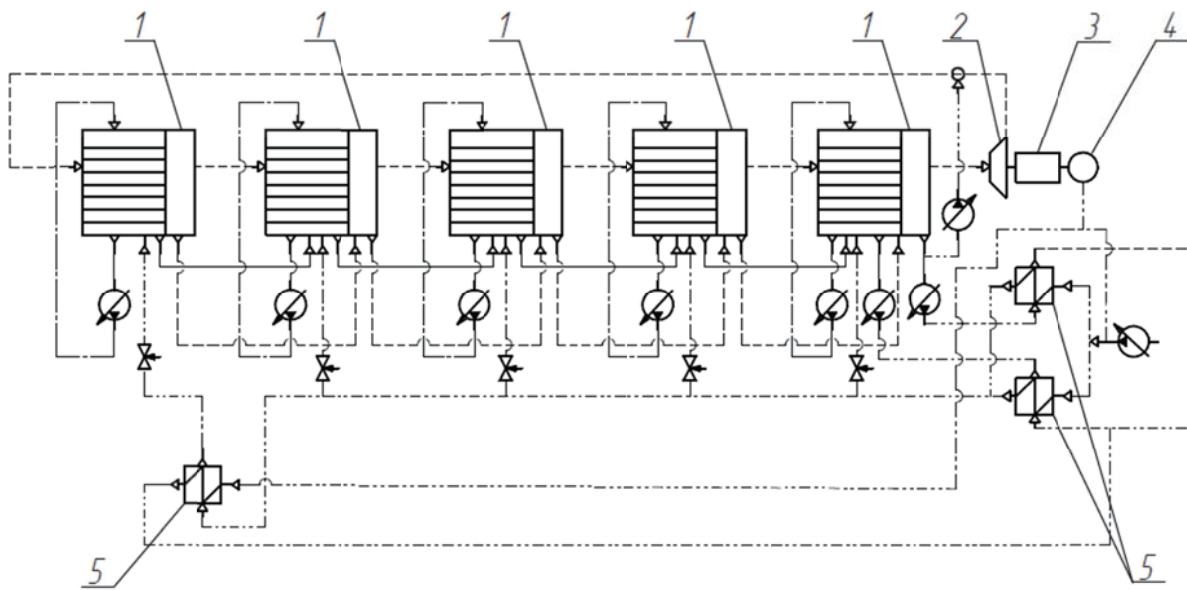
$$Q = (1 - \Pi(\eta_{зп})) \cdot P_{вал},$$

где  $\eta_{зп}$  – КПД зубчатой передачи,  $P_{вал}$  – мощность на валу.

КПД зубчатых передач обычно находится в диапазоне 0,95-0,99 [6]. Тогда возможное



**Рис. 3.** Схема установки с подводом тепла от мультипликатора:  
 1 – ступень испарителя; 2 - парокompрессор; 3 - мультипликатор;  
 4 - электродвигатель; 5 - теплообменник



**Рис. 4.** Схема установки с подводом тепла от электродвигателя:  
 1 – ступень испарителя; 2 – парокompрессор; 3 – мультипликатор;  
 4 – электродвигатель; 5 – теплообменник

**Таблица 1.** Тепловыделение двигателя в зависимости от мощности

Мощность двигателя, кВт	0-2	3-15	15-150	>150
Выделение тепла, Вт/кВт	250	150	100	80

тепловыделение от мультипликатора будет находиться в диапазоне 160-800 Вт.

В целом можно отметить, что располагаемые источники тепла не позволят подогреть температуру исходной воды в первой ступени до температуры кипения. Величина подогрева

при использовании всех трех источников тепла составит величину порядка 3-4 °С. Предварительные выводы демонстрируют иррациональность систем утилизации тепла водоежектора и мультипликатора ввиду незначительного тепловыделения. Основной интерес представляет

утилизация тепла электродвигателя в сочетании с утилизацией тепла в мультипликаторе, если предварительные испытания покажут значительное тепловыделение в нем.

Одним из альтернативных вариантов повышения энергоэффективности опреснительной установки является конструкция опреснителя где в качестве привода парокompрессора применяется тепловой двигатель (двигатель внутреннего сгорания или газотурбинный двигатель). Подобные установки обладают рядом преимуществ.

Во-первых, применение ДВС или ГТД в качестве привода исключает зависимость установки от подачи электричества (для работы электродвигателя требуется промышленное напряжение 380В). Что в свою очередь повышает автономность установки. Данное качество позволяет использовать установку в регионах с неразвитой инфраструктурой, где возможны перебои с подачей электричества или вообще отсутствует электроэнергия как таковая. Для питания непосредственно электроприборов установки (датчики, исполнительные механизмы и т.д.) можно использовать генератор малой мощности с приводом от теплового двигателя.

Во-вторых, появляется возможность использовать утилизируемое тепло от двигателя. В случае применения ДВС контур системы охлаждения можно связать с теплообменником исходной воды. В таком случае паразитное тепло, выделяемое двигателем во время работы, можно использовать для подогрева исходной воды до требуемой температуры. Тем самым можно значительно повысить энергоэффективность установки. В случае применения ГТД допустимо использовать выхлопные газы для обогрева теплообменников исходной воды.

Однако применение ГТД целесообразно только при вторичном использовании, так как стоимость установок высока. То есть рационально использование установок, отработавших свой основной ресурс и адаптированных под наземное применение.

Так же применение тепловых двигателей допускает регулирование частоты вращения па-

рокомпрессора посредством дросселирования двигателя. Это становится актуальным при изменении свойств опресняемой воды.

## ВЫВОДЫ

В настоящей статье были предложены разнообразные схемы отбора тепла для повышения энергетической эффективности дистилляционных опреснительных установок. Основными путями повышения энергетической эффективности установки видятся более полное использование тепла, которое производится определенными элементами установки (электродвигатель, ДВС, мультипликатор), а также определение более эффективных способов получения пара высокого давления.

Так же перспективно проектировать гибридные опреснительные установки, которые будут сочетать несколько методов повышения энергоэффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 343 с.
2. Влияние изменения солености морской воды на работу водо-рассольного и водо-дистиллятного подогревателей установки вакуумно выпарной / *Бирюк В.В., Благин Е.В. и др.* // Успехи современной науки. 2016. Т.12. №12.
3. Grundfos CR5-12 A-FGJ-A-E-HQQE 3x400D 50HZ / GRUNDFOS DATA BOOKLET. 2013. – 11 с.
4. Оценочное тепловыделение работающих электрических двигателей (электромоторов) [Электронный ресурс]. URL: <http://tehtab.ru/Guide/GuideEquipment/ElectricalMotors/ElectricalMotorHeatLoss/> (дата обращения 12.10.2018).
5. Электродвигатель АИР160М2, АИР160М4, АИР160М6, АИР160М8 [Электронный ресурс]. - URL: [http://electronpo.ru/dvigatel\\_air160m](http://electronpo.ru/dvigatel_air160m) (дата обращения 12.10.2018).
6. *Леденева Н.Ф.* Механика. Ульяновск: УВАУ ГА, 2002. 138 с.

## PROBLEMS OF ENERGY EFFICIENCY OF DISTILLATION INSTALLATIONS

© 2018 I.G. Bedrin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The object of this article is problem of increasing the energy of distillation plants with steam compressor (vacuum evaporator plants). Options to improve plant is offered, through a more complete using the energy of steam (in the ideal case, the energy of steam is used only for the evaporation of the source water, and is not spent on its preheating either). Search for hidden heat sources for preheating the source water. The design schemes of pilot plants with various heat supply are given. Alternative ways of increasing energy efficiency are also considered. Conclusions on the choice of the most productive and promising ways to improve the energy efficiency of vacuum evaporator installations were made.

*Keywords:* energy efficiency, desalination plant, steam compressor.