

УДК 628.16.048

М.Л. УГРЮМОВ, А.М. ЛЯШЕНКО, В.И. БЕЛОКОНЬ, А.А. ПЛЕШКОВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Представлены описание принципа работы и конструкция опреснительной установки индивидуального пользования, а также результаты её испытаний в натуральных условиях

**опреснитель, регенерация, энергетические затраты**

### Введение

В настоящее время в существующих проектах опреснительных установок преимущественно используются процессы дистилляции, обратного осмоса и электродиализа [1].

Исключительный недостаток методов обратного осмоса и электродиализа заключается в отравлении мембран частицами, присутствующими в соленой воде, что требует частой замены мембран, а их стоимость достаточно велика [2].

Деминерализация воды может производиться и за счёт вымораживания. Однако этот метод требует сложного и дорогостоящего оборудования, что не позволено в условиях индивидуального пользования.

Работа опреснительных установок, реализующих принцип дистилляции и получивших распространение в настоящее время, основан на выпаривании нагретой воды. При этом большая часть подведённого тепла остаётся неиспользованной, что, как следствие, приводит к высоким удельным энергетическим затратам [3].

Существующие в настоящее время промышленные образцы весьма сложны в конструктивном отношении и в эксплуатации. Требуемые для промышленных установок системы предварительного смягчения опресняемой воды трудно применять в условиях индивидуального пользования.

В работе [4] представлена гелиоопреснительная установка индивидуального пользования, принцип действия которой основан на многократном применении цикла испарение – конденсация. Такие опреснительные установки обладают достаточно высокой производительностью, однако не надёжны в эксплуатации и сложны конструктивно.

Таким образом, актуальной является проблема создания высокоэффективных опреснительных установок простых в конструктивном отношении и в эксплуатации.

### Решение проблемы

В данной статье рассматривается опреснительная установка, предназначенная для получения дистиллята из морской или загрязнённой воды, принцип работы которой основан на двухступенчатом расширении предварительно нагретой, находящейся под давлением воды («мгновенное вскипание»), с регенерацией тепла.

Для достижения конструктивной простоты и упрощения процесса эксплуатации была реализована конструкция, в которой процессы испарения-конденсации интенсифицированы в большей степени, чем в существующих промышленных аналогах.

Процесс очистки поверхности испарения (расширительных устройств, а также бака и электронагревателя) от солей предельно облегчён из-за высо-

ких тепловых нагрузок, вследствие чего удалось избежать предварительной обработки (смягчения) опресняемой воды.

В рабочем цикле опресняемая вода находится под высоким давлением (1,0 – 1,5 МПа) при температуре (180 – 200 °С), вследствие чего вода проходит полное обеззараживание.

Полученный дистиллят хранят в накопительных емкостях, а рассол сливают в специальные поддоны для последующего испарения в атмосферных условиях остатков воды с целью получения солей. В состав установки входит система автоматического управления, которая обеспечивает полную автоматизацию рабочего процесса.

### Принципиальная схема установки

Принципиальная схема опреснительной установки приведена на рис. 1. Основными элементами опреснителя являются бак с нагревателем 2 и расширительные устройства 3, 4.

Расширительные устройства выполнены идентично друг другу и состоят из двух частей: бака со встроенными рёбрами и центральным телом (для увеличения площади поверхности конденсации) и встроенных конденсаторов-теплообменников. Вода в систему подаётся под давлением при помощи плунжерного насоса 1, обеспечивающего заданный расход. Фильтр, установленный на входе в насос 1, не допускает попадания крупных частиц (песка) в систему подачи опресняемой воды.

Плунжерный насос 1 (с регулируемой подачей) обеспечивает подачу под давлением опресняемой воды в бак 2.

Бак 2 служит для нагрева и накопления опресняемой воды. Нагревательный элемент, расположенный в баке 2, обеспечивает подвод необходимой для процесса энергии.

В расширительных устройствах 3, 4 реализуется объемное кипение впрыскиваемого под давлением рабочего тела. В результате кипения образуется пар,

который затем конденсируется во встроенных в них конденсаторах 6, 7.

Регенеративный теплообменник 5 предназначен для повышения экономичности опреснителя.

Система электропитания обеспечивает работу привода насоса 1, нагревательного элемента бака 2, системы управления.

Система управления и контроля рабочих параметров поддерживает выбранный режим работы и отключает опреснитель при возникновении аварийных ситуаций. Аварийная система, включающая предохранительные клапаны, срабатывает при превышении рабочими параметрами допустимых пределов.

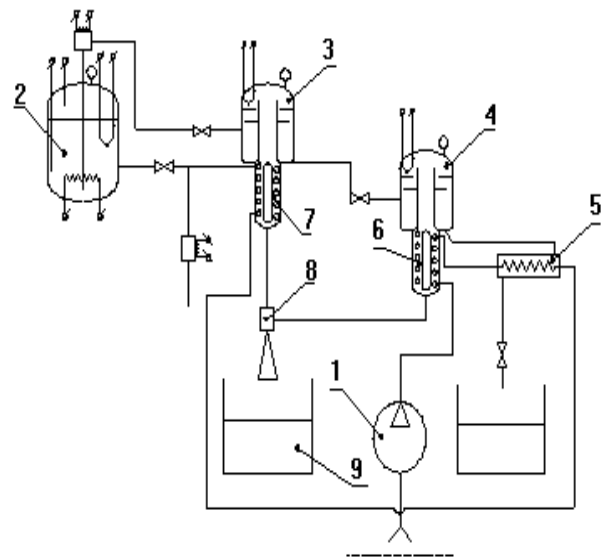


Рис. 1. Схема опреснительной установки:

- 1 – плунжерный насос;
- 2 – бак с нагревательным элементом;
- 3, 4 – расширительные устройства;
- 5 – регенеративный теплообменник;
- 6, 7 – встроенные конденсаторы;
- 8 – эжектор;
- 9 – емкость для дистиллята

### Работа опреснительной установки

Опреснитель работает следующим образом.

Теплоноситель (вода) забираемый плунжерным насосом 1, поступает в конденсатор-теплообменник 6 расширительного устройства 4, где получает часть тепла от дистиллята (вторая ступень).

Далее теплоноситель поступает в теплообменник-рекуператор 5, в котором он подогревается сбрасываемым из расширительного устройства 4 рассолом.

Из теплообменника-рекуператора 5 теплоноситель поступает в конденсатор-теплообменник 7 расширительного устройства 3 первой ступени, где происходит окончательный подогрев.

Из конденсатора-теплообменника 7 теплоноситель через клапан поступает в бак 2, где догревается до рабочей температуры, а затем сбрасывается в расширитель 3 первой ступени, а из него в расширитель 4 второй ступени.

За расширительным устройством 4 теплоноситель поступает в теплообменник-рекуператор 5 и, отработав в нём, в виде рассола сбрасывается в окружающую среду.

### Результаты испытаний лабораторного образца

Изготовленный опытный образец опреснительной установки имеет следующие параметры:

- габариты – 1,0 м × 0,8 м × 1,4 м;
- масса – 75 кг;
- ёмкость бака для пресной воды – 50 л;
- мощность насоса – 300 Вт;
- мощность электронагревателя – 3 кВт.

Опреснительная установка была испытана в натурных условиях в марте 2004 года в Крыму. Испытания проводились 5 часов, на морской воде с двумя подключенными последовательно расширительными устройствами.

В процессе испытаний все системы опреснителя работали без сбоев.

В процессе экспериментальных исследований измерялись:

- мощность, потребляемая электронагревателем,  $N_e$ ;
- параметры воды в баке (избыточное давление  $P_6 = (7,5 \dots 10)$  бар, температура  $t_6 = (120 \dots 180)$  °С;

– параметры воды в расширительном устройстве 3 (избыточное давление  $P_1 = (0,8 \dots 3)$  бар, температура  $t_1 = (110 \dots 140)$  °С;

- суммарный расход  $(5 \dots 10) \cdot 10^{-3}$  кг/с;
- расход дистиллята  $G_d (0,52 \dots 0,82) \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Время выхода системы на стационарный режим, включающее заполнение бака 2, подогрев воды до заданных параметров, регулирование подачи насосом 1 воды составляло  $\approx 1$  час. На основании данных экспериментальных исследований определялась удельная мощность  $N_{y0}$  опреснительной установки. Результаты экспериментальных исследований сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты натурных испытаний опреснительной установки в составе ЭТК

$P_6$ , бар	$P_1$ , бар	$G_d \cdot 10^3$ , кг/с	$N_{y0}$ , кВт·ч/кг	$d$ , мм
8,5...9,5	1,2...1,25	0,60	0,93	0,67
8,0...9,0	2,9...3,0	0,60	0,92	0,67
8,0...9,0	0,8...1,3	0,52	1,07	0,67
7,5...9,0	0,8...1,3	0,63	0,84	0,67
10,0	2,7	0,82	0,68	0,57

Проведен анализ результатов экспериментальных исследований. Из анализа данных следует:

- при фиксированных параметрах воды в баке 2 расход дистиллята  $G_d$  пропорционален мощности, потребляемой электронагревателем  $N_e$ ;
- с увеличением параметров воды в баке ( $P_6, t_6$ ) – расход дистиллята растет;
- достижимым является уровень удельной мощности  $N_{y0} = 0,7 - 0,6$  кВт·час/кг, что в  $\approx 1,3$  раза меньше, чем в существующих промышленных аппаратах.

Были проведены исследования по определению солесодержания дистиллята. Исследования проводились с водой Харьковского водопровода и водой Черного моря.

Вода Харьковского водопровода имела следующие показатели: общее солесодержание 633 мг/л, жесткость общая 6,9 мг-экв/л, щелочность 5,95 мг-экв/л, рН = 7,95.

Солесодержание опресненной воды Харьковского водопровода составило 15 мг/л, а опреснение модели воды Черного моря позволило снизить солесодержание с 20000 мг/л до 140 мг/л.

Результаты проведенных измерений изображены графически на ниже представленной диаграмме (рис. 2). Затемненная область на графике показывает интервал допустимого солесодержания для питьевой воды.



Рис. 2. Результаты измерений солесодержания

### Заключение

Предлагаемая опреснительная установка в силу своей универсальности может использоваться в следующих целях:

- для получения пресной питьевой воды в районах отсутствия таковой;
- в пищевой промышленности;
- в медицине (полевые госпитали);
- в составе аккумуляторных станций;
- в составе передвижных (полевых) кухонь;

– в качестве корабельных малогабаритных опреснительных станций;

– в составе наземных опреснительных станций;

– в качестве аварийного источника питьевой воды продолжительного действия.

Предусмотрена возможность дальнейшей модернизации конструкции (введение в состав установки солнечного коллектора и т.д.), ведущей к повышению экономичности установки в целом.

Таким образом, в результате проведенной работы была создана и испытана в натурных условиях опреснительная установка, реализующая принцип «мгновенного вскипания» с регенерацией тепла, обеспечивающая существенное снижение затрат энергии на получение 1 кг дистиллята.

### Литература

1. Сейчтурбанов С. Многоступенчатые термические установки / Под ред. Т. Байрашова. – Ашхабад: Ылым, 1980. – 231 с.
2. Слесаренко В.Н. Опреснение морской воды. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 278 с.
3. Слесаренко В.Н. Дистилляционные опреснительные установки. – М.: Энергия, 1980. – 263 с.
4. Горшнев В.Г., Жулев Ю.Г., Потапов Ю.Ф. Гелиоопреснительная установка индивидуального пользования // Теплоэнергетика. – 2001. – № 2 – С. 14 – 16.

*Поступила в редакцию 1.11.2005*

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.