

ДИСТИЛЛЯТОР С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

В работе описан созданный дистиллятор, использующий тепловой насос открытого типа и позволяющий более чем в 3 раза сократить водо- и энергопотребление при получении дистиллята.

Процесс получения дистиллированной воды энергозатратен, так как дистилляция представляет собой процесс испарения воды и дальнейшей конденсации полученного пара. В большинстве традиционных дистилляторов вода нагревается и испаряется электронагревательным элементом (ТЭНом) в камере испарения, затем пар поступает в камеру конденсации, которая охлаждается протекающей снаружи водопроводной водой. Сконденсированный пар вытекает через ниппель. Охлаждающая вода пополняет камеру испарения, но большей частью сливается, то есть почти вся отданная на нагрев воды энергия участвует в процессе получения дистиллята один раз, а затем отводится во внешнюю среду.

Для повышения эффективности работы дистиллятора разработана лабораторная установка, в которой с помощью теплового насоса энергия отбирается у пара и отдается испаряемой воде.

В тепловом насосе теплота передается от более холодного к более нагретому потоку (в сторону увеличения температуры), и такая передача согласно второму началу термодинамики в компрессионном тепловом насосе невозможна без затрат механической мощности. Поэтому кроме теплообменных аппаратов каждый компрессионный тепловой насос содержит компрессор с электрическим или иным приводом. В результате подвода низкопотенциальной теплоты в испаритель теплового насоса происходит кипение рабочего тела, пары которого сжимаются в компрессоре с повышением энтальпии и температуры за счет работы сжатия. В конденсаторе теплота фазового перехода рабочего тела передается технологическому носителю.

Характеристикой эффективности работы теплового насоса является отношение отданной внешнему потребителю теплоты к затраченной на это работе:

$$\xi = q_1/a = (q_2 + a)/a,$$

где ξ – коэффициент преобразования теплового насоса;

a – механическая работа;

q_1 – теплота, получаемая рабочим телом в испарителе;

q_2 – теплота, отданная рабочим телом в конденсаторе.

При работе теплового насоса по обратному циклу Карно коэффициент преобразования равен:

$$\xi = q_1/a = T_1(T_1 - T_2),$$

где: T_1 – температура конденсации;

T_2 – температура испарения.

Из данного соотношения следует, что при уменьшении разности между температурами конденсации и испарения увеличивается коэффициент преобразования, а это делает применение теплового насоса более эффективным. Значение ξ всегда больше единицы [1].

На основании анализа результатов исследований по выбору наиболее оптимального теплового агента был выбран тепловой насос открытого типа, в котором тепло в камеру испарения приносит сам пар. Работа дистиллятора происходит следующим образом. Вода в емкости нагревается ТЭНами, расположенными в верхней части камеры испарения. В момент закипания воды включается компрессор. Образовавшийся пар всасывается компрессором и сжимается с повышением температуры, затем выходит в теплообменник, где конденсируется, отдавая тепло воде, находящейся в камере испарения, и выходит в виде дистиллята в водосборник. Работающий компрессор создает повышенное давление в теплообменнике, при этом температура конденсации выше, чем температура кипения в камере испарения. Таким образом, создается перепад температур, обеспечивающий переход энергии от конденсируемой к испаряемой воде.

Схема лабораторной установки изображена на рисунке 1. Дистиллятор содержит емкость 1, нагреватель 2, камеру испарения 3, парозаборник 4, кожух изолирующий 5, тепловой насос 6 с компрессором 7 и теплообменником 8. Работа дистиллятора происходит следующим образом. Емкость 1 заполняется водопроводной водой до погружения в ней нагревателя 2 и теплового насоса 6. Уровень воды в дальнейшем поддерживается автоматически, например, с помощью электроконтактного датчика (не

показан), который в момент достижения уровня включает нагреватель 2, расположенный в верхней части камеры испарения 3, и компрессор 7 теплового насоса 6. Образующийся в процессе нагрева воды пар через парозаборник 4 отбирается из камеры испарения 3 компрессором 7, в котором пар сжимается с повышением температуры, и поступает в теплообменник 8, конденсируется в нем, отдавая тепло воде, находящейся в камере испарения 3, и выходит из теплообменника 8 в виде дистиллята в водосборник (не показан). До компрессора 7 в дистилляторе создается разрежение в камере испарения 3, с понижением температуры кипения воды, а после компрессора 7 в теплообменнике 8 возникает избыточное давление и происходит конденсация пара при повышенной температуре. Таким образом создается перепад температур, обеспечивающий переход энергии от пара в теплообменнике 8 к испаряемой воде в камере испарения 3. Изолирующий кожух 5 служит для уменьшения потерь энергии в окружающую среду.

Созданная модель может работать в двух режимах: традиционном и с использованием теплового насоса. При этом первоначальный нагрев воды происходит без работы теплового насоса, а после нагрева и получения стабильного потока дистиллята включается тепловой насос и уменьшается мощность ТЭНов.

Кроме экономии более чем в 3,5 раза электроэнергии получена экономия водопроводной воды, т. к. в лабораторной установке нет необходимости отводить тепло из дистиллятора. Так, в наиболее распространенном дистилляторе, выпускаемым нашей промышленностью – ДЭ-25 водопотребление более чем в 14 раз превышает производимую аппаратом дистиллированную воду (таблица 1).

Основные параметры существующих дистилляторов [2], [3] и экспериментальной модели приведены в таблице.

Экспериментальные данные представлены в виде графиков на рисунке 2, причем значение удельного энергопотребления показано начиная с получения дистиллята, т. е. первоначальный нагрев не влияет на показатели. Горизонтальными линиями показаны средние значения удельного энергопотребления при работе в традиционном режиме и с использованием теплового насоса.

Теоретический расчет удельного энергопотребления показывает:

Таблица 1

Показатели	Эксп. модель	ДЭ-25	ДА-10	ДЭ-4	М-5000
Потребляемая мощность, кВт	1	18	8	3,5	4
Производительность, л/ч	4,5	25	10	4	5
Водопотребление, л/ч	4,5	360	100	нет данных	
Удельное энергопотребление, Вт·ч/л	0,222	0,720	0,800	0,875	0,800

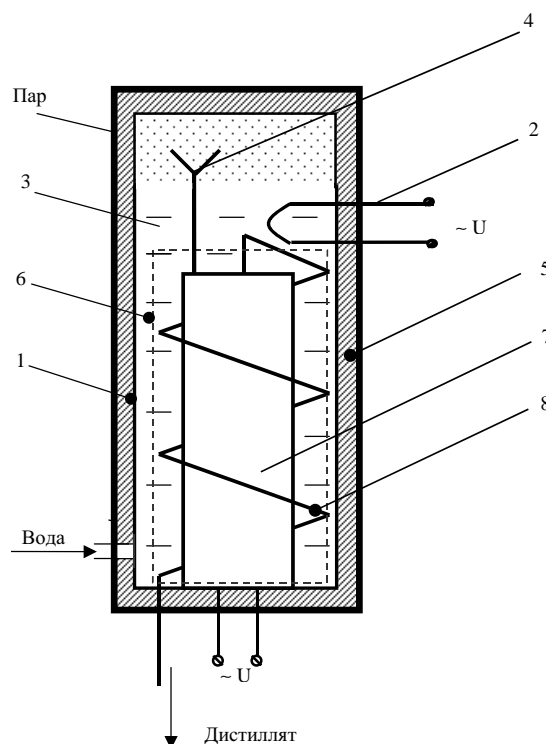


Рисунок 1. Схема дистиллятора с тепловым насосом открытого типа

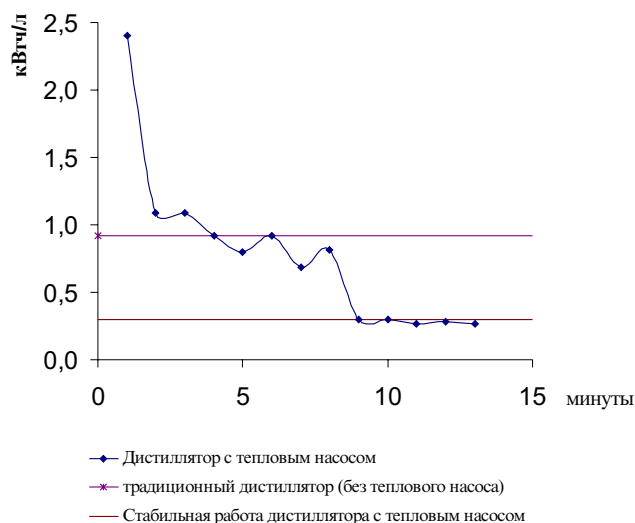


Рисунок 2. Удельное энергопотребление дистиллятора в пусковой период

для традиционного дистиллятора:

$$T_{\text{ввх}} = 20^{\circ}\text{C}; P = 1 \text{ бар}; T_{\text{кип}} = 99,62^{\circ}\text{C};$$

$$R = 2257,5 \text{ кДж/кг}; C = 1,41 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{град};$$

$$Q = (99,62-20) \cdot 1,41 + 2257,5 = 2369,76 \text{ кДж/кг};$$

для дистиллятора с тепловым насосом:

$$T_{\text{ввх}} = 20^{\circ}\text{C}; P = 1,2 \text{ бар}; T_{\text{кип}} = 104,8^{\circ}\text{C};$$

$$R = 2243,6 \text{ кДж/кг}; \xi = 104,8 / (104,8 - 99,62) = 20;$$

$$Q_1 = (104,8 - 20) \cdot 1,41 + 2243,6 = 2363,17 \text{ кДж/кг};$$

при этом энергия, потребляемая приводом теплового насоса:

$$W = 2363,17 / 20 \approx 118,16;$$

$$Q_2 = 2363,17 - 2243,6 + 118,16 = 237,73 \text{ кДж/кг};$$

$$K_{\text{э}} = 2369,76 / 237,73 = 9,9.$$

Таким образом, теоретически возможна девятикратная экономия электроэнергии при производстве дистиллированной воды.

Расхождения между теоретическими расчетами и экспериментальными данными объясняются несовершенством лабораторной установки, в частности компрессора и теплоизоляции. Но даже в таких условиях достигается существенная экономия электроэнергии и водопроводной воды, что является показателем актуальности дальнейшей разработки данного проекта.

Список использованной литературы:

1. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1975. 309-311 с.
2. Чирков А.И. Организация и механизация работ в аптеках лечебно-профилактических учреждений. – М.: Медицина, 1981. 166-181 с.
3. Кац А.М. Руководство по приборам и оборудованию для медико-биологических исследований. – Л.: Медицина, 1976. 12-18 с.