

**Е.Е. ВОЛКОВА, Д.Ю. МАРТЫНОВ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПЛАСТИНЧАТЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

*В последние годы находит все большее применение метод, обеспечивающий эффективную санитарную обработку и очистку воды от большинства известных химических и биологических загрязнений. Это выпаривание (испарение и дистилляция) жидкой среды. Для многократного увеличения производительности в большинстве случаев в циклах выпаривания используются гидравлические тепловые системы, испарители, в которых возможно повторное использование энергии, которую содержит пар, вырабатываемый испарителем. Передача тепла происходит при повторной конденсации пара в теплообменных блоках испарителя. В статье рассмотрены гидравлические аспекты работы испарителей, влияющие на процесс выпаривания жидкостей из загрязненных сточных вод, морской воды, ценных жидких сред. Проведены гидравлические расчеты, определяющие влияние гидростатического давления жидкости на процесс парообразования и энергетическую эффективность испарителя, работающего при пониженном и атмосферном давлении. Изучены возможности совершенствования конструкции испарителей, применяемых в производственных циклах опреснительных и водоочистных станций, в сфере природопользования и пищевой промышленности. Найдены решения, связанные с конфигурацией внутренних отсеков испарителя, направленные на повышение производительности и уменьшение расходов производственных систем, используемых для выпаривания жидкости.*

*Испарители, дистиллят, гидравлическое давление жидкости, очистка воды, опреснение воды, суспензии, биологические концентраты.*

**Введение.** В рамках технического прогресса постепенно, хотя и очень медленно совершенствуются технологии очистки воды от примесей и загрязнений и технологические комплексы, очищающие воду от растворенных химических веществ и микрочастиц. В том числе, согласно справочным данным [1, 2, 3], модернизируются первичные системы очистки воды и сточных вод от крупных загрязнений и взвесей, решетки, песколовки, первичные отстойники, системы биологической очистки воды, аэраторы, фильтр прессы, метантенки и иные сооружения. Определенных успехов удалось добиться в борьбе с патогенными микроорганизмами, например, при создании, системы ультрафиолетового излучения, губительно действующего на патогенные микроорганизмы, или при создании препятствующих прохождению микробов и иных микроорганизмов, очищаемых в процессе эксплуатации пластинчатых фильтров со средними внутренними размерами фильтрационных каналов менее 1 микрометра. При этом существует целый ряд загрязнителей, которые извлекаются и выделяются из воды лишь при серьезных

эксплуатационных затратах. В первую очередь это соединения растворимых в воде солей и химических соединений, практически не отделяемые от воды при ее биологической очистке [4-8]. С учетом различных нормативов качества питьевой воды, воды, предназначенной для мелиорации, и сточных вод, сбрасываемых в водные объекты питьевого и хозяйственно-бытового водопользования, используются различные методики очистки воды. Так, использование химических реагентов, коагулянтов и систем электролиза позволяет добиться осаждения и извлечения избыточных, в рамках нормативов качества водной среды, растворенных в воде химических соединений, но требует чрезвычайно значительных финансовых затрат, в том случае если концентрация растворенных в водной среде химических соединений значительна и измеряется в граммах на литр. Использование систем обратного осмоса при очистке от растворенных в воде соединений, в которых очищаемая жидкость движется по расположенным внутри фильтра порам, или каналам размерами в десятки, или сотни нанометров, требует частой замены загрязненных

фильтров и существенных энергетических затрат, связанных с высокими гидравлическими потерями и низкой пропускной способностью фильтров обратного осмоса [8, 9].

Широко известен, также еще один метод, обеспечивающий эффективную очистку воды от большинства известных химических загрязнений, который в последнее время получает все большее распространение. Это дистилляция, или испарение воды, а при глубокой очистке, бидистилляция, повторное испарение ранее полученного дистиллята. Данный технический метод включает внешний источник тепла, в том числе в виде котла, электронагревателя или солнечного коллектора, причем в последнем случае финансовые затраты, связанные с выработкой тепла, могут быть минимальными. Для многократного увеличения производительности, в большинстве случаев в циклах выпаривания используются гидравлические тепловые системы, испарители, в которых возможно повторное использование энергии, выделившейся при конденсации пара, с передачей большей части выделенной энергии через металлическую стенку аппарата для повторного нагрева и испарения загрязненной, соленой или дистиллированной воды [10, 11].

Значительные потребности, связанные с применением новых, более надежных и энергетически эффективных испарителей в цикле работы малых и средних опреснительных станций, существуют в сельском хозяйстве южных регионов, использующем системы капельного орошения, в промышленности и коммунальной сфере при применении технологий, связанных с удалением солей жесткости при подготовке оборотной воды для ТЭЦ, АЭС и котельных. Значительную практическую и коммерческую ценность очищенная от солей вода имеет в регионах с засушливым климатом, которые граничат с морями, в том числе, например, в таких субъектах на юге Российской Федерации, как Республика Калмыкия, Астраханская область, Ростовская область, Республика Крым и в соседних странах, таких как Казахстан, Туркмения и др. Опресненная вода используется в регионах с засушливым климатом и в такой важной сфере, как питьевое и коммунально-бытовое водоснабжение, при этом, объемы использования опресненной воды и комфортность проживания людей в данных регионах во многом зависят от возможности создания новых надежных

и быстро окупаемых опреснительных станций. Применение испарителей может значительно повысить окупаемость переработки соленой морской воды за счет выработки обеззараженной товарной морской соли, получаемой наряду с обессоленной водой.

Помимо методов опреснения воды также возможно использование технических решений, основанных на сохранении свойств ценных органических и биологических соединений, входящих в состав водной среды. В качестве примера подобных соединений можно привести концентраты и сухие смеси хлореллы (входящие в состав дорогих пищевых добавок – суперфуд в США и Японии), полученные из водных суспензий хлореллы, выпаривание воды из молока для получения концентратов и сухих смесей, концентрирование ценных органических жидкостей, используемых при изготовлении напитков. Необходимость соблюдения заданных температурных режимов (с температурами значительно меньше 100°C) для сохранения ценных качеств биологических и органических продуктов (например, для предотвращения свертывания белковых соединений, гибели живых клеток, предотвращения разложения органических соединений) также вносит требование для испарителей нового класса, работы под вакуумом с учетом гидравлических режимов, осложненных движением внутри жидкости значительных объемов пара с малой плотностью, существенным образом уменьшающих плотность всей жидкой смеси. Разработка компактных испарителей, способных с незначительными затратами решать подобные задачи, весьма актуальна для потребителей, производящих высококачественные органические и биологические концентраты, смеси и пищевые добавки.

Еще одна область применения для перспективных выпарных аппаратов – их применение в системах очистки химически загрязненной водной среды. Важно отметить, что для фирм и предприятий, которые осуществляют сельскохозяйственную и промышленную деятельность, сервисное и коммунальное обслуживание, связанное со значительным водопотреблением и объемом образующихся сточных вод, все более востребованными становятся надежные, соответствующие современным нормативам качества воды при технической водоподготовке и очистке сточных вод, высококоротабельные и быстро окупаемые очистные сооружения, в которых обеззараживание

и отделение избыточной воды осуществляют выпарные комплексы работающие при температурах от 80°C и выше.

**Материал и методы исследований.**

Для эффективного функционирования испарителей и снижения энергетических затрат при их работе необходимо выполнение целого ряда требований. Создание необходимых гидравлических напоров для эффективного подвода жидкости и отвода конденсата и пара в испарителе. Регулирование минимально необходимого уровня жидкости внутри секций испарителя для уменьшения избыточного давления, негативно влияющего на процесс парообразования внутри испарителя. Создание регулируемых режимов движения жидкого конденсата внутри секционных блоков испарителя, интенсифицирующих процесс образования конденсата на стенках испарителя и способствующих повторному использованию энергии пара, образующегося в процессе выпаривания воды в испарителе.

В этой связи рассмотрим гидравлические особенности работы испарителей под вакуумом при температурах в диапазоне от 25°C до 30°C и при температурах, близких к 100°C.

Испарение жидкости начинает преобладать над ее конденсацией при давлениях ниже давления на линии насыщения при заданной температуре жидкой среды. Если процесс испарения сопровождается подводом тепла через стенку теплообменного аппарата и происходит при стационарной температуре, на общую производительность теплообменного оборудования влияет гидравлическое давление столба жидкости, находящейся внутри испарителя. Для того чтобы жидкость, находящаяся возле теплообменной стенки, продолжала испаряться, требуется повысить температуру теплообменной стенки, через которую жидкости передается тепло. При этом связь между избыточным давлением и высотой столба жидкости  $\Delta h$ , согласно [12, 13], может бы определена по следующей формуле

$$\Delta h = \frac{P_{\text{конеч}} - P_{\text{нач}}}{g \cdot \rho_{\text{воды}}} \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – высота столба жидкости над теплообменной поверхностью, м;  $\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды при заданной температуре (без учета влияния пузырьков пара);  $P_{\text{конеч}}$  – конечное давление пара, Па;  $P_{\text{нач}}$  – начальное давление пара, Па;  $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,8 \text{ м}^2/\text{с}$ ).

Согласно [14-16], на полное испарение как обычной, например, питьевой, воды и воды с большим количеством растворенных химических элементов, например, соленой морской воды с концентрацией солей 17-40 г/л, тратится более 2 МДж/кг тепловой энергии. Поэтому если процесс испарения проводить однократно, сбрасывая в окружающую среду всю выделяемую при конденсации дистиллированной воды энергию, то практически невозможно создать рентабельный испаритель. В этой связи испаритель может содержать изолированные секции, прогреваемые за счет тепла, выделяемого при конденсации пара выводимого из испарителя, и работать в компрессионном цикле с небольшим повышением давления между секциями, предназначенными для выпаривания жидкости, и секциями, предназначенными для конденсации отводимого пара, что позволит уменьшить тепловые потери и энергетические затраты на один или два порядка. Компрессор, сжимающий пар, отводимый из испарителя, должен содержать высокоскоростные рабочие органы, прогревающие пар при его сжатии, для предотвращения конденсации сжатого пара внутри компрессора. Сжатие пара до требуемой плотности тем больше, чем больше разница температур на теплопередающей стенке, на которой пар конденсируется, отдавая свое тепло через стенку теплообменного аппарата испаряемой жидкости.

Электрическая энергия  $E$ , затрачиваемая на сжатие пара, согласно [17-20], может быть найдена по формуле:

$$E = K \cdot P_{\text{нач}} \cdot V_{\text{нач}} \cdot \ln(N) \quad (2)$$

$$N = \frac{V_{\text{нач}}}{V_{\text{конеч}}} \quad (3)$$

$$F = E \cdot S_{\text{элект}} \cdot 10^3 \quad (4)$$

где  $E$  – электрическая энергия, затрачиваемая на сжатие 1 килограмма пара, Дж/кг;  $F$  – затраты на одну тонну дистиллированной жидкости, руб.;  $S_{\text{элект}}$  – тариф за электроэнергию (в расчете,  $S_{\text{элект}} = 5 \text{ руб./кВт ч}$ );  $P_{\text{нач}}$  – начальное давление пара, Па;  $V_{\text{нач}}$  – начальный удельный объем пара, м<sup>3</sup>/кг;  $V_{\text{конеч}}$  – конечный удельный объем пара;  $N$  – степень сжатия пара;  $K$  – обобщенный коэффициент, учитывающий дополнительную энергию, затрачиваемую на взаимодействие подвижных элементов компрессора с более нагретым паром (при дополнительных затратах электроэнергии, связанных с прогревом пара, высокоскоростными рабочими органами компрессора,  $K \approx 1,7$ ).

Зная теплофизические свойства воды и водяного пара [14, 15, 21, 22], можно рассчитать дополнительные затраты электричества, связанные с избыточным уровнем воды в испарителе, для испарителей, работающих в циклах получения

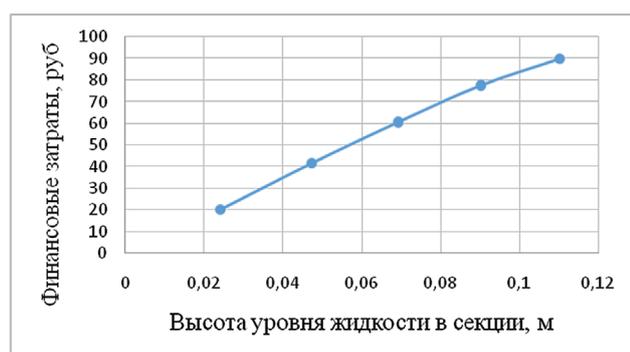
высококонцентрированных органических и биологических сред (под вакуумом, при температурах 25-30°C). Расчеты для начальной температуры пара,  $T_{нач.}, ^\circ\text{C}$ , и конечной  $T_{конеч.}, ^\circ\text{C}$  температуры пара (для  $T_{конеч.} = 30^\circ\text{C}$ ) представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Дополнительные затраты электричества, связанные с избыточным уровнем воды в испарителе (для температуры пара  $T_{конеч.} = 30^\circ\text{C}$ )**

Расчетные параметры	Значения при указанной температуре				
	25	26	27	28	29
$T_{нач.}, ^\circ\text{C}$	25	26	27	28	29
$P_{нач.}, \text{Па}$	3166	3361	3565	3779	4005
$P_{конеч.}, \text{Па}$	4242	4242	4242	4242	4242
$K$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
$V_{нач.}, \text{м}^3/\text{кг}$	43,399	41,221	38,862	36,661	34,593
$V_{конеч.}, \text{м}^3/\text{кг}$	32,929	32,929	32,929	32,929	32,929
$N$	1,318	1,252	1,180	1,113	1,051
$\ln(N)$	0,276	0,225	0,166	0,107	0,0493
$E, \text{Дж/кг}$	64605,746	55792,7	43652,24	29989,69	14589,02
$\rho_{воды}, \text{кг/м}^3$	997,045	996,783	996,513	996,223	995,945
$\Delta h, \text{м}$	0,110	0,09	0,069	0,047	0,024
$F, \text{руб.}$	89,73	77,49	60,63	41,65	20,26

Зависимость дополнительных финансовых затрат ( $F$ , руб.) от уровня жидкости в секциях испарителя (при температурах внутри испарителя 25-30°C) представлена на рисунке 1.



**Рис. 1. Дополнительные затраты на сжатие пара в зависимости от уровня жидкости в секциях испарителя**

Как можно увидеть, ввиду низких давлений внутри испарителя, работающего под вакуумом, даже небольшое увеличение уровня жидкости в секциях испарителя ведет к существенному росту финансовых затрат, связанных со сжатием пара до требуемых плотностей, соответствующих разнице температур между конденсируемым паром и испаряемой

жидкостью. Например, при уровне жидкости в 9 см дополнительные финансовые затраты на 1 м<sup>3</sup> извлекаемого дистиллята, могут превысить 77 рублей. Необходимо отметить, что плотность водной среды, испаряемой под вакуумом, может быть ниже плотности, указанной в таблице 1, ввиду значительного объема пара с низкой плотностью, образующегося на нагретой стенке испарителя, перемещающегося внутри жидкой среды.

При получении дистиллята из морской или загрязненной воды появляется возможность использовать режим работы испарителя с давлениями, близкими к атмосферным, что существенно уменьшает разницу давлений на внешних стенках испарителя и стоимость самого испарителя.

Дополнительные затраты электричества ( $F$ , руб.), связанные с избыточным уровнем воды в испарителе, для испарителей, работающих в циклах получения дистиллята и минеральных солей (при температуре  $T_{нач.}$  от 80°C до 96°C и  $T_{конеч.} = 100^\circ\text{C}$ ), представлены в таблице 2.

Сопоставление дополнительных финансовых затрат ( $F$ , руб.), в зависимости от уровня жидкости в секциях испарителя (при температурах внутри испарителя 25-30°C и 94-100°C) представлено на рисунке 2.

Дополнительные затраты электричества, связанные с избыточным уровнем воды в испарителе (для температуры пара  $T_{\text{конеч}} = 100^{\circ}\text{C}$ )

Расчетные параметры	Значения при указанной температуре				
$T_{\text{нач}}, ^{\circ}\text{C}$	80	84	88	92	96
$P_{\text{нач.}}, \text{Па}$	47359	55572	64947	75607	87685
$P_{\text{конеч.}}, \text{Па}$	101325	101325	101325	101325	101325
$K$	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
$V_{\text{нач.}}, \text{м}^3/\text{кг}$	3,41	2,936	2,538	2,212	1,916
$V_{\text{конеч.}}, \text{м}^3/\text{кг}$	1,674	1,674	1,674	1,674	1,674
$N$	2,038	1,754	1,516	1,321	1,145
$\ln(N)$	0,712	0,562	0,416	0,279	0,135
$E, \text{Дж/кг}$	195422	155899	116588	79267	38649
$\rho_{\text{воды}}, \text{кг/м}^3$	958,4	958,4	958,4	958,4	958,4
$\Delta h, \text{м}$	5,746	4,871	3,873	2,738	1,452
$F, \text{руб.}$	271,4	216,53	161,93	110,09	53,68

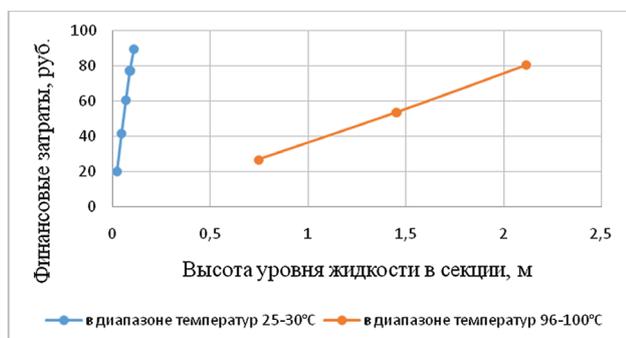


Рис. 2. Сопоставление дополнительных финансовых затрат ( $F$ , руб.), на сжатие пара в зависимости от уровня жидкости в секциях испарителя (при температурах внутри испарителя  $25-30^{\circ}\text{C}$  и  $94-100^{\circ}\text{C}$ )

Как можно увидеть на рисунке 2 (при сравнении с вакуумными испарителями), при работе испарителя при давлениях, близких к атмосферным, уровень жидкости в секциях испарителя менее 20 см не оказывает значительного влияния на парообразование. Уровень жидкости внутри секций высотой в 10-20 см может быть вполне приемлем для энергосберегающего режима работы современного испарителя. Но с учетом существенно меньшей стоимости неорганических продуктов (дистиллированной воды и солей) по сравнению органическими (порошками и суспензиями), получаемыми под вакуумом, для быстрой окупаемости испарителей, работающих при давлениях, приближенных к атмосферным (50-110 кПа), необходимо повышать их производительность.

Производительность может быть повышена за счет большей разницы температур,  $\Delta T$  между испаряемой жидкой и конденсируемой парообразной средой, что должно сопровождаться дополнительным повышением давления  $\Delta P$  при сжатии пара в рамках формул:

$$\Delta T = T_{\text{конеч.}} - T_{\text{нач.}} \quad (5)$$

$$\Delta P = P_{\text{конеч.}} - P_{\text{нач.}} \quad (6)$$

Возможные финансовые затраты ( $F$ , руб.), связанные с работой компрессора в зависимости от разницы температур и давлений между испаряемой жидкой и конденсируемой парообразной средой представлены (рис. 3 и рис. 4.)

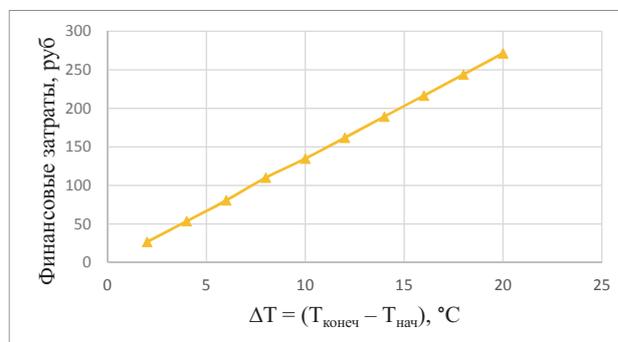


Рис. 3. Финансовые затраты ( $F$ , руб.), связанные с работой компрессора в зависимости от разницы температур между испаряемой жидкой и конденсируемой парообразной средой для диапазона температур  $80-100^{\circ}\text{C}$

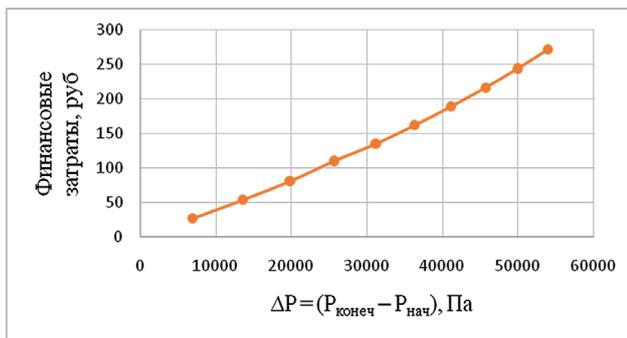


Рис. 4. Финансовые затраты ( $F$ , руб.), связанные с работой компрессора в зависимости от разницы давлений между испаряемой жидкой и конденсируемой парообразной средой для диапазона температур 80-100°C

**Результаты и обсуждение.** В целях оптимизации гидравлических характеристик, влияющих на производительность и энергетическую эффективность, был разработан испаритель, представляющий из себя пластинчатый аппарат с вертикальными стенками, прогреваемый за счет тепла, выделяемого при конденсации пара отводимого из аппарата. Испаритель, представленный на рисунке 5, работает в компрессионном цикле с небольшим повышением давления между вертикальными отделениями, предназначенными для выпаривания жидкости, и отделениями, предназначенными для конденсации отводимого пара.

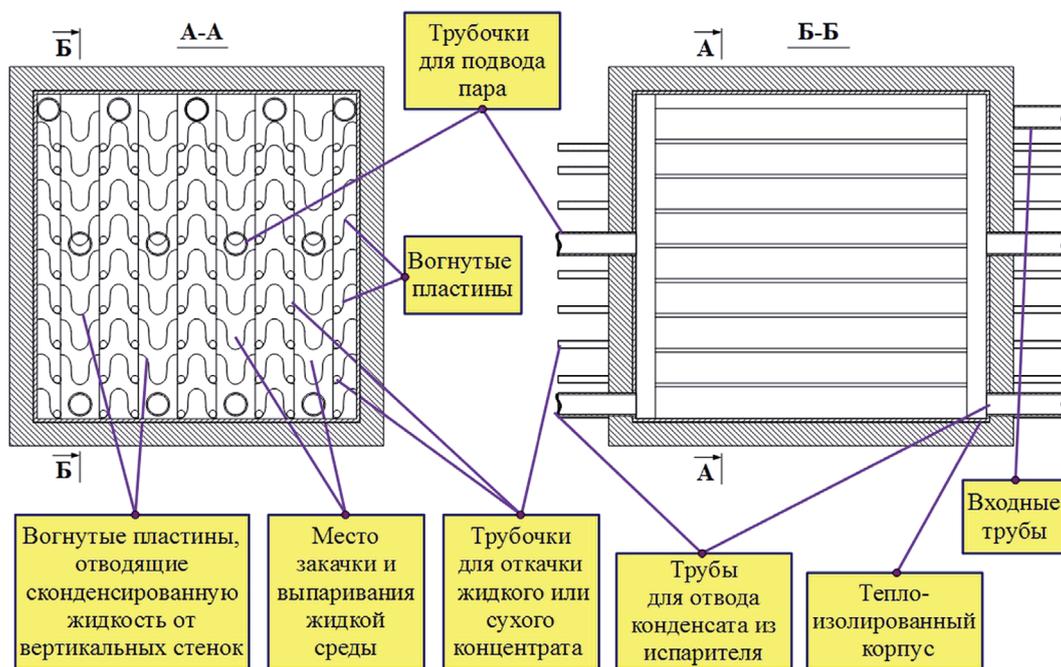


Рис. 5. Пластинчатый испаритель

Испаритель разделен на чередующиеся отделения с пониженным давлением и отделения с повышенным давлением, соединенные: с системой отвода конденсата; с системой отвода смеси или жидкого концентрированного рассола; с системой компрессионного сжатия пара и его транспортировки из отделения с пониженным давлением в отделение с повышенным давлением. Во внутреннюю часть отделений с пониженным давлением, содержащую горизонтальные полукруглые лотки, расположенные на одинаковом (по высоте) расстоянии друг от друга, вводится выпариваемая жидкая среда. Лотки увеличивают прочность аппарата, направляют и прижимают испаряемую жидкость к стенкам аппарата,

способствуя созданию зон с небольшим гидростатическим давлением жидкости, ускоряя процессы выпаривания и отвода пара из отделений с пониженным давлением. Внутри отделений с повышенным давлением на вертикальных стенках устанавливаются боковые линейные направляющие в виде горизонтально расположенных желобов с вертикальными отверстиями в центральной части. Горизонтальные желоба размещаются сверху вниз и позволяют увеличить прочность аппарата и обеспечить отвод охлажденных жидких конденсатов и газообразных сред, текущих вниз по поверхности вертикальных стенок, и препятствующих теплообмену, в направлении к центральной части отделений с повышенным давлением.

Собранный в желобах конденсат далее проходит сквозь вертикальные отверстия и выводится в нижнюю часть аппарата, откуда удаляется через трубы с помощью насосов. Пар, отводимый из отделений с низким давлением, проходит сквозь компрессор, нагретый до стационарной температуры, соответствующей температуре насыщения сжатого пара. В компрессоре пар сжимается, немного повышая свою плотность и давление, и поступает в отделения с повышенным давлением, где конденсируется, передавая через стенку выделяемое при конденсации тепло выпариваемой жидкой среде. Подобная конфигурация пластинчатого выпарного аппарата с небольшими перепадами давлений между отделениями значительно уменьшает затраты электричества, связанные с выпариванием жидкости, позволяет использовать вертикальные стенки небольшой толщины и веса во внутренней части аппарата и обеспечивает условия для быстрого теплообмена и передачи теплоты сквозь вертикальные стенки между изолированными отделениями аппарата.

При использовании испарителя в цикле опреснения происходит разделение водной среды на две части: чистую опресненную воду и концентрированный загрязненный или солевой раствор заданной концентрации, который далее направляется на обработку или переработку в соответствии с технологическими требованиями. При необходимости получения питьевой воды дистиллированная вода может быть минерализована до нормативов соответствующим качеством питьевой воды [23].

Испаритель также может быть использован для получения высокоценной органической и биологической среды под вакуумом. Например, при получении высокоценного концентрата из насыщенной водой суспензии хлореллы. При испарении воды внутри испарителя, под вакуумом (при температуре 25-27°C), в осадок начинают выпадать содержащиеся в суспензии живые клетки, белки, аминокислоты и углеводы. Осадок скапливается на дне горизонтальных лотков, закрепленных на вертикальных стенках испарителя, специально сконфигурированных таким образом, чтобы быстро подавать воду и отводить (занимающий большой объем и обладающий малой плотностью) пар от вертикальных стенок испарителя. Ценный осадок со дна лотков затем отводится из испарителя по специальным

трубочкам, расположенным в нижней части лотков в предназначенные емкости для хранения и упаковки. Пар из вертикальных боковых секций с пониженным давлением (содержащих суспензию) вакуумного пластинчатого теплообменного аппарата отводится по трубам и нагнетается компрессором с небольшой степенью сжатия в вертикальные боковые (конденсационные) секции с повышенным давлением (расположенные между секциями, в которых размещена суспензия). В вертикальных боковых конденсационных секциях пар конденсируется при температуре 30°C через вертикальные стенки, передавая свое тепло, прогревая и испаряя воду из суспензии.

### Выводы

Учет гидравлических параметров, влияющих на производительность и эксплуатационные затраты выпарного оборудования, позволил определить направления, связанные с совершенствованием конструкции испарителей, работающих при атмосферном и пониженных давлениях. Для улучшения возможностей циркуляции пара, вырабатываемого испарителем, была выбрана вертикальная пластинчатая конструкция испарителя, снабженная лотками и желобами, позволяющая значительно повысить надежность, производительность, финансовую и энергетическую эффективность работы испарителя.

### Библиографический список

1. **Павлинова И.И.** Водоснабжение и водоотведение: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Изд. Юрайт, 2016. – 380 с.
2. **Кольцов В.Б.** Процессы и аппараты защиты окружающей среды: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: изд. Юрайт, 2014. – 588 с.
3. Исследование возможности использования микроводоросли *Chlorella vulgaris* в технологических процессах обеззараживания и доочистки сточных вод. / Король Т.С., Мартынов Д.Ю., Новиченко А.И. и др. // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2017. № 4. – С. 24-30.
4. Теплофизические свойства газов, растворов и растворов солей: Справочник. / Шадрин Е.М., Лебедев В.Я., Гусев Е.В. и др. – Иваново: изд. Иванов. ГХТУ, 2004. – 195 с.
5. **Зацепина Г.Н.** Физические свойства и структура воды. – М.: изд. МГУ, 1998. – 171 с.

6. **Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д.** Вода в дисперсных системах. – М.: Химия, 1989. – 288 с.
7. **Зайцев И.Д., Асеев Г.Г.** Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ: Справочник. – М.: Химия, 1988. – 416 с.
8. **Кутепов А.М.** Концентрированные и насыщенные растворы. – М.: Наука, 2002. – 456 с.
9. **Дытнерский Ю.И., Каргаманов Г.Г.** Моделирование процесса фильтрации: Учебное пособие. – М.: изд. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 52 с.
10. **Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С.** Выбор и расчет теплообменников: учебное пособие. – Пенза, изд. Пенз. гос. у-та, 2001. – 100 с.
11. Газоразделительная теплообменная установка: пат. 2570281 РФ: / авт. Мартынов Д.Ю., Новиченко А.И., Мартынов В.Ю., Кучинова И.В.; заявитель и патентообладатель Мартынов Д.Ю., Новиченко А.И., Мартынов В.Ю., Кучинова И.В.; заявка: 2014133009/06, Дата подачи заявки: 12.08.2014 Опубликовано: 10.12.2015 Бюл. № 34
12. **Викулин П.Д., Викулина В.Б.** Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения: учебник. / 3-е изд. – М.: Изд-во МГСУ, 2017. – 218 с.
13. **Муравьев О.А.** Уравнительные резервуары: учебное пособие. / 2-е изд., испр. – М.: МИСИ-МГСУ, 2018. – 72 с.
14. Физические величины: Справочник. / **Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М.** и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
15. **Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П.** Справочник по теплогидравлическим расчетам. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с.
16. **Архипкин В.С., Добролюбов С.А.** Основы термодинамики морской воды: Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2018. – 155 с.
17. Молекулярная физика. Термодинамика. Конденсированные состояния: учебное пособие. / Пиралишвили Ш.А., Шалагина Е.В., Каляева Н.А. и др. – СПб.: Лань, 2017. – 200 с.
18. **Белов Г.В.** Техническая термодинамика: учебное пособие для академического бакалавриата. – М.: Юрайт, 2017. – 252 с.
19. **Вукалович М.П., Новиков И.И.** Термодинамика. Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1972. – 672 с.
20. Исследование влияния скорости движения плоской мембраны на процесс тепловыделения в компрессорах и детандерах мембранного типа. / **Мартынов Д.Ю., Ханов Н.В., Андреев С.А.** и др. // Научное обозрение. – 2017. – № 24. – С. 21-28.
21. ГСССД 2-77, Таблицы стандартных справочных данных: Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100°C. – М.: изд. Стандартов, 1978. – 6 с.
22. **Бобылёв В.Н.** Физические свойства наиболее известных химических веществ: Справочное пособие. – М.: изд. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 24 с.
23. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. <http://docs.cntd.ru/document/901798042>

Материал поступил в редакцию 05.05.2019 г.

#### Сведения об авторах

**Волкова Екатерина Евгеньевна**, аспирант кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: e.e.wolkova@yandex.ru

**Мартынов Дмитрий Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Общей и инженерной экологии», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, ул. Б. Академическая, д. 44; e-mail: dimamifi@mail.ru

**E.E. VOLKOVA, D.YU. MARTYNOV**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

## USE OF HYDRAULIC CALCULATIONS TO IMPROVE DESIGN AND EFFICIENCY OF PLATE EVAPORATORS

*In recent years there is an increasing usage of the method providing effective sanitization and treatment of water from most known chemical and biological contaminants. This is vaporization (evaporation and distillation) of the liquid medium. For a multiple increase in productivity, in most cases, in vaporization cycles hydraulic*

*thermal systems are used, evaporators in which it is possible to reuse the energy contained in the steam produced by the evaporator. Heat transfer occurs during steam re-condensation in the heat exchange units of the evaporator. The article considers hydraulic aspects of the operation of evaporators affecting the process of liquids evaporation from polluted wastewater, sea water, valuable liquids. Hydraulic calculations were performed which determine the effect of the hydrostatic liquid pressure on the steam generation process and energy efficiency of the evaporator operating at the reduced and atmospheric pressure. The possibilities of improving the evaporators design used in the production cycles of desalination and water treatment plants in the field of environmental management and food industry were studied. Solutions were found related to the configuration of connected with the evaporator compartments aimed at improving productivity and reducing the costs of the production systems used for liquid evaporation.*

*Evaporators, distillate, hydraulic fluid pressure, water purification, water desalination, suspensions, biological concentrates.*

### References

1. **Pavlinova I.I.** Vodosnabzhenie i vodootvedenie: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata. – M.: Izd. Yurait, 2016. – 380 s.
2. **Koltsov V.B.** Protsessy i apparaty zashchity okruzhayushchej sredy: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata. – M.: Izd. Yurait, 2014. – 588 s.
3. Issledovanie vozmozhnosti ispolzovaniya mikrovodorosli *Chlorella vulgaris* v tehnologicheskikh protsessah obezzarazhivaniya i doochistki stochnyh vod. / Korol T.S., Martynov D.Yu., Novichenko A.I. i dr. // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2017. № 4. – S. 24-30.
4. Teplofizicheskie svoystva gazov, rastvoritelej i rastvorov solej: Spravochnik. / Shadrina E.M., Lebedev V.A., Gusev E.V., Markichev N.A. i dr. – Ivanovo: izd. Ivanov. GHTU, 2004. – 195 s.
5. **Zatsepina G.N.** Fizicheskie svoystva i struktura vody. – M: izd. MGU, 1998. – 171 s.
6. **Deryagin B.V., Churaev B.V., Ovcharenko F.D.** Voda v dispersnyh sistemah. – M.: Himiya, 1989. – 288 s.
7. **Zaitsev I.D., Aseev G.G.** Fiziko-himicheskie svoystva binarnykh i mnogokomponentnykh rastvorov neorganicheskikh veshchestv: Spravochnik. – M.: Himiya, 1988. – 416 s.
8. **Kutepov A.M.** Kontsentrirrovannye i nasyshchennye rastvory. – M.: Nauka, 2002. – 456 s.
9. **Dytnerski Y.I., Kargamanov G.G.** Modelirovanie protsessa filtratsii: Uchebnoe posobie. – M.: izd. RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2001. – 52 p.
10. **Vinogradov S.N., Tarantsev K.V., Vinogradov O.S.** Vychor i raschet teploobmennikov: uchebnoe posobie. – Penza, izd. Penz. Gos. U-ta, 2001. – 100 p.
11. Gazorazdelitelnaya teploobmennaya ustanovka: pat.2570281RF:/avt.Martynov D.Y., Novichenko A.I., Martynov V.Y., Kuchinova I.V.; zayavitel i patentoobladatel Martynov D.Yu., Novichenko A.I., Martynov V.Yu., Kuchinova I.V.; zayavka: 2014133009/06, Data podachi zayavki 12.08.2014 Opublikovano: 10.12.2015 Byul. № 34
12. **Vikulin P.D., Vikulina V.B.** Gidravlika system vodosnabzheniya i vodootvedeniya: uchebnik. / 3-e izd. – M.: Izd-vo MGSU, UN-T. – 3rd ed. – Moscow: Moscow Publishing house. state builds. University, 2017-218 p.
13. **Muraviov O.A.** Uravnitelnye rezervuary: uchebnoe posobie. / 2-e Izd. Ispr. – M.: MISI-MGSU, 2018. – 72 s.
14. Fizicheskie velichiny: Spravochnik. / Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovsky A.M. i dr.. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 s.
15. **Kirillov P.L., Yuriev Yu.S., Bobkov V.P.** Spravochnik po teplogidravlicheskim raschetam. M.: Energoatomizdat Handbook of thermal-hydraulic calculations / M: ed. Energoatomizdat, 1990. – 360 p.
16. **Arkhypkin V.S., Dobrolyubov S.A.** Osnovy termodinamiki morskoy vody: Uchebnoe posobie. – M.: Yurait, 2018. – 155 p.
17. Molekulyarnaya fizika. Termodinamika. Kondensirovannye sostoyaniya: uchebnoe posobie. / Piralishvili Sh.A., Shalagina E.V., Kalyaeva N.A. i dr. SPb.: Lan, – 200 p.
18. **Belov G.V.** Termicheskaya dinamika: uchebnoe posobie dlya akademicheskogo bakalavriata. – M.: Yurait, 2017. – 252 s.
19. **Vukalovich M.P., Novikov I.I.** Termodinamika. Uchebnoe posobie dlya vuzov. – M.: Mashinostroenie, 1972. – 672 p. V
20. Issledovanie vliyaniya skorosti dvizheniya ploskoj membrany na protsess teplovydeleniya v kompressornah i detanderah membrannogo tipa. **Martynov D.Y., Khanov N.V. Andreev S.A. i dr.** // Nauchnoe obozrenie. – 2017. – № 24. – S. 21-28.

21. GSSSD2-77, Tablitsy standartnyh spravochnyh dannyh. Voda. Plotnost pri atmosfernom davlenii i temperaturah ot 0 do 100°C. – M.: izd. Standartov, 1978. – 6 s.

22. **Bobylev V.N.** Fizicheskie svoistva naibolee izvestnyh himicheskikh veshchestv. Spravochnoe posobie. – M.: izd. RHYU im. D.I. Mendeleeva, 2003. – 24 s.

23. SanPiN2.1.4.1074-01 pitjevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannyh system pitjevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva. <http://docs.cntd.ru/document/901798042>

The material was received at the editorial office  
05.05.2019 g.

#### Information about authors

**Volkova Ekaterina Evgenievna**, post-graduate student of the department «Complex use of water resources and hydraulics» FSBEI HE Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural; 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya ul., d. 44; e-mail: e.e.wolkova@yandex.ru

**Martynov Dmitri Yrievich**, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «General and engineering ecology» FSBEI HE Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya ul., d. 44e-mail: dimamifi@mail.ru

УДК 502/504: 627.4 (0.75.8)

**Э.С. БЕГЛЯРОВА, Т.И. МАТВЕЕВА, С.А. СОКОЛОВА**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «российский государственный аграрный университет – МСХа имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

## АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЧЕРМЯНКИ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА

*Озелененные территории городов выполняют различные функции и могут быть как рекреативными или инженерно-техническими зонами, так и буферными зонами промпредприятий или инженерных и транспортных магистралей, также они могут иметь статус природоохранного комплекса (ПК). Природоохранный комплекс Москвы составляет около трети городской территории (в старых границах, до присоединения к столице новых территорий), куда входят особо охраняемые природные территории (ООПТ), природные территории общего пользования (парки, скверы, детские площадки, водоёмы), территории природного комплекса), к которым относятся долины малых рек города. Имеется ряд проблем, связанных с функционированием природных комплексов малых рек и их деградацией вследствие негативных природных процессов, независимых от деятельности человека (заболачивание, заиление), связанных с последствиями пребывания человека вблизи рек (замусоривание, загрязнение водных объектов и территорий), а также с унаследованным деградированным состоянием природного комплекса.*

*Природный комплекс (ПК), особо охраняемая природная территория (ООПТ), границы режимов градостроительной деятельности.*

**Введение.** Объект рассмотрения находится в Северо-Восточном административном округе г. Москвы в муниципальных округах «Бибирево», «Медведково», «Южное Медведково».

Река Чермянка протекает по северной части г. Москвы и является вторым по величине притоком р. Яузы. Длина р. Чермянки в черте города 10,3 км, из которых 7,6 км протекает в открытом русле. Площадь водосбора р. Чермянки составляет

20 км<sup>2</sup>. Из участка реки от ул. Широкая до р. Яузы выделен самостоятельный объект, где средняя часть реки от ул. Молодцова до пр. Дежнева имеет статус природного комплекса города, что накладывает определённые ограничения при производстве работ.

Рассмотренный участок состоит из двух отрезков: ул. Широкая – ул. Молодцова, длина которого составляет 1,6 км, и пр. Дежнева – р. Яуза (устье) длиной 1,2 км (рис. 1).