

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С КОНТАКТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ

Котов В.М.¹, Ерыгина Л.А.²

¹Котов Владимир Михайлович - начальник отдела;

²Ерыгина Людмила Александровна - старший научный сотрудник,
Национальный ядерный центр Республики Казахстан,
г. Курчатов, Республика Казахстан

Аннотация: показаны особенности работы опреснительной установки с контактными теплообменом между греющим паром и испаряемой водой. Проведен анализ характеристик обмена энергией в элементах установки, определяющих ее экономическую эффективность. Предложены технические решения, снижающие затраты энергии на опреснение воды в вариантах с повышенным давлением пара в испарительной камере.

Ключевые слова: опреснительная установка, выпаривание, рекуперативный теплообменник, компрессор, пар, вода.

Введение

Существующий во многих регионах дефицит пресной воды может быть покрыт за счет опреснения соленых вод. Основной технологией, используемой при этом, является выпаривание в многокорпусных аппаратах. Она становится экономически выгодной при высокой производительности. Недостатком, являющимся следствием использования многокорпусных аппаратов, является сложность общей схемы. Кроме того при работе проявляется осаждение солей на рабочих поверхностях аппаратов, ухудшающее эксплуатационные свойства.

Возможные устранения данных недостатков могут быть связаны с технологией контактного теплообмена между испаряемой водой и греющим паром [1]. В предложенном решении [2] используется испарительная камера с падающим потоком соленой воды, который контактирует с циркулирующим потоком пара. Пар с расходом равным расходу испаренной воды сжимается в компрессоре и подается в рекуперативный теплообменник, вторым агентом которого является циркуляционный пар. Большее давление сжатого пара обеспечивает возможность передачи тепла при ожигении сжатого пара циркуляционному пару.

Данная технология обеспечивает, помимо использования простой однокорпусной схемы [3], достижение малых затрат энергии на выпаривание, отсутствие необходимости в источнике пара для ее работы, возможность эффективной работы установок сравнительно малой производительности.

Особенности технологии

Затраты энергии на получение опресненной воды определяются в основном характеристиками рекуперативного теплообменника «сжатый пар – циркуляционный пар» и связанного с ним компрессора пара. Конструкция теплообменника задает средний уровень перепада температуры между сжатым паром и циркуляционным паром. В теплообменнике опреснительной установки [1] были использованы стенки из труб на основе алюминиевого сплава, представленные на рисунке 1а. В данном теплообменнике проводился нагрев циркуляционного пара на 10 °С, при мощности теплообмена 30 кВт его расход равен 700 г/с. Расход испаряемой воды 13 г/с. При данном соотношении расходов скорость сжатого пара будет много меньше скорости циркуляционного пара. Меньший расход сжатого пара и переход его в жидкое состояние требуют значительно меньшего сечения для его течения в теплообменнике. В представленном на рисунке 1б варианте с квадратными трубками из медного сплава скорость сжатого пара может быть легко увеличена до требуемой величины. Улучшается компактность рекуперативного теплообменника. Небольшую положительную роль здесь играет и замена алюминиевого сплава на медный.

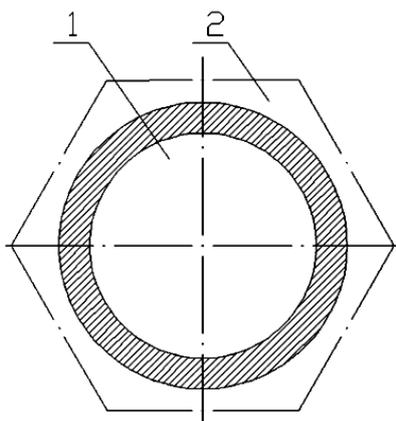


Рис. 1а. Круглая ячейка

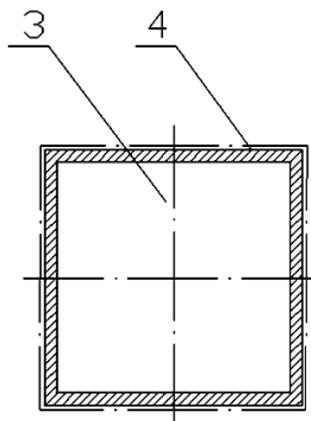


Рис. 1б. Квадратная ячейка

Реализуемый в теплообменнике перепад температур задает уровень повышения давления пара в компрессоре. Важно знать, как влияет этот перепад температур на эффективность работы опреснительной установки.

В таблице 1 представлено изменение параметров сжатого пара (давление P , энтальпия фазового перехода J , разность энтальпий сжатого и циркуляционного паров dJ , степень сжатия пара ϵ , работа сжатия A , температура, достигаемая при сжатии $T_{сж}$) в зависимости от температуры фазового перехода сжатого пара.

Таблица 1. Варианты характеристик опреснительной установки

Параметр / вариант	Пар ц	Сжатый пар					
		113	115	118	120	122	124
T , °C	105						
P , ата	1.21	1.585	1.691	1.864	1.98	2.11	2.25
J пар, Дж/г			2698.6	2703	2706	2708.9	2711.7
J вода, Дж/г			482.6	495.3	503.8	512.3	520.8
dJ пар-вода, Дж/г	2243.1	2221.5	2216	2207.7	2202.2	2196.6	2190.9
dJ $t-t_2$, Дж/г		-21.6	-27.1	-35.4	-40.9	-46.5	-52.2
ϵ , о.е.		1.31	1.398	1.54	1.636	1.744	1.86
A , Дж/г		47.4	58.96	77.2	88.44	100.95	113.1
$T_{сж}$ °C		131.5	138	148.2	154.5	161	168.3

На основании данных таблицы 1 рассчитаны количества условных корпусов каждого варианта при двух значениях тепловых потерь испарительной камеры – 1.0 и 1.5 % от dJ пар-вода циркуляционного пара. Здесь важную роль играет тепловой баланс установки, рассчитываемый по формулам:

$$B = Q \text{ доп} + dJ + Q \text{ потерь}; \text{ при } Q \text{ потерь} < 0$$

$$B = Q \text{ доп} + dJ; \text{ при } Q \text{ потерь} \geq 0$$

Количество условных корпусов рассчитывалось как $Q / (A * 2.5 + B)$. В последнем выражении принято, что затраты тепловой энергии в работе компрессора равны 1/КПД, а КПД электростанции равен 45 %. Расчетные значения числа корпусов и баланса представлены на рисунке 2.

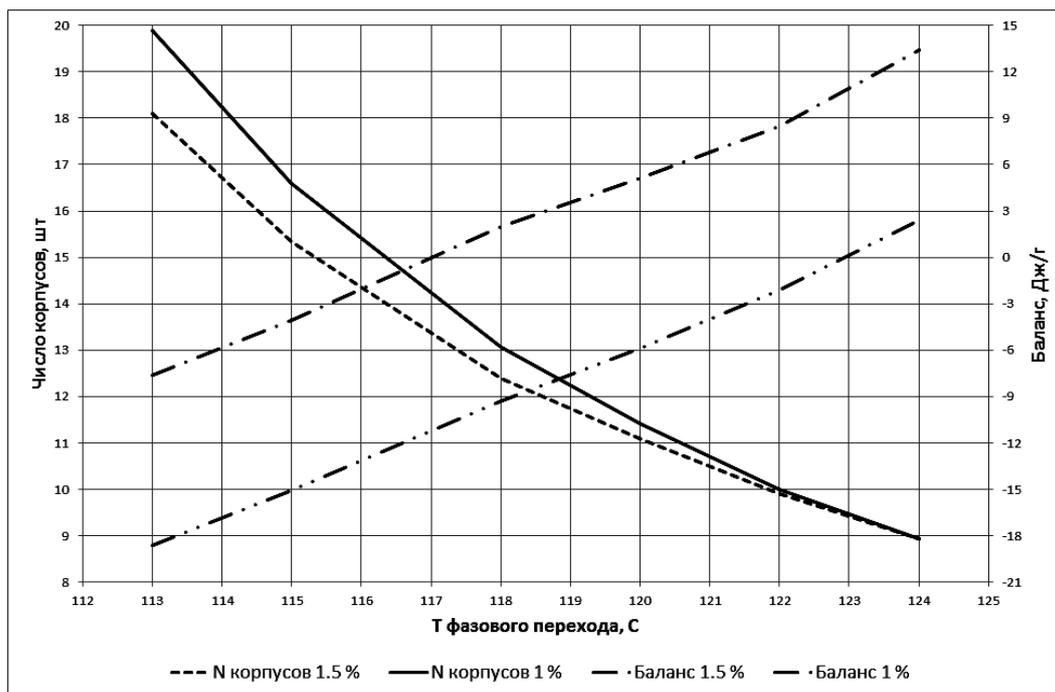
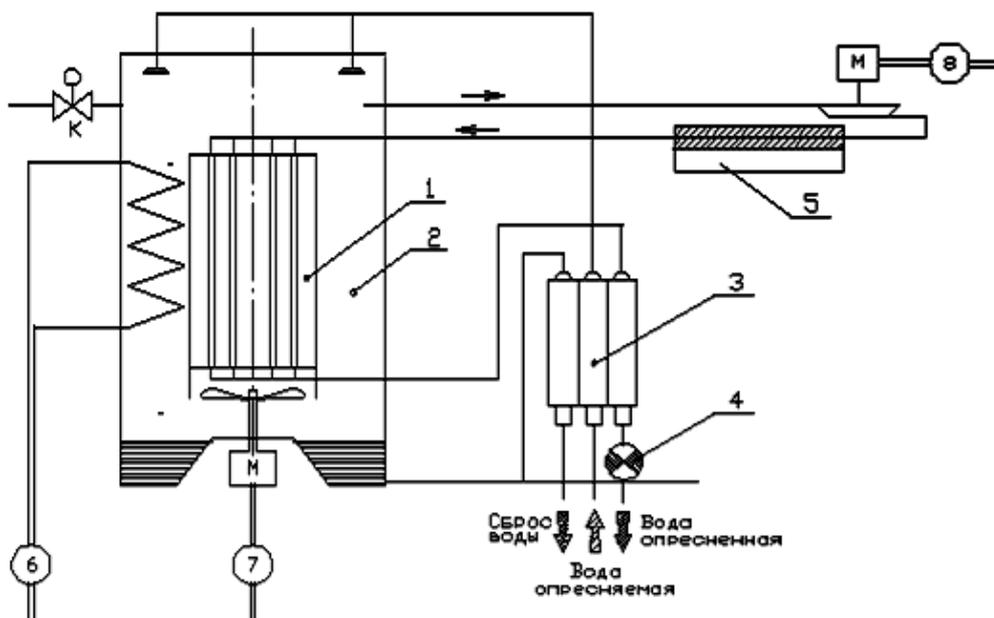


Рис. 2. Зависимость числа корпусов и баланса от температуры фазового перехода сжатого пара

Анализ данных

Из рисунка 2 видно, что отрицательный баланс наблюдается в области меньших температур фазового перехода сжатого пара. Однако, этой же области число условных корпусов наибольшее. Наибольший вклад в отрицательный баланс вносят тепловые потери испарительной камеры. Казалось бы, стоит компенсировать эти потери подогревом стенок испарительной камеры и задача будет решена. Однако, это не так. При такой компенсации будут нарушены условия расчета – вырастет температура циркуляционного пара, возможно неполное ожидение сжатого пара в рекуперативном теплообменнике.

Положительное решение заключается в вводе дополнительной тепловой энергии в тракт сжатого пара. На рисунке 1 приведена схема такой модифицированной установки.



1 – рекуперативный теплообменник, 2 – испарительная камера, 3 – внешний рекуператор, 4 – шайба на выходе пресной воды, 5 – источник дополнительной тепловой энергии, 6, 7, 8 – электрические переключатели, К – клапан выпуска воздуха

Рис. 3. Опреснительная установка с дополнительным вводом тепла

Повышение температуры циркуляционного потока пара приводит к росту его давления и снижению габаритов испарительной камеры, что позволяет уменьшить потери тепловой энергии при той же толщине теплоизоляции и меньшей ее массе.

Компенсация тепловых потерь по схеме рисунка 3 обеспечивает высокие характеристики опреснительной установки, соответствующие в лучшем варианте работе многокорпусной установки с числом корпусов больше 20. Лучшие результаты будут достигнуты при использовании роторно-лепесткового варианта компрессора [5].

Заключение

Приведено изменение характеристик передачи тепловой энергии от сжатого пара циркуляционному потоку в рекуперативном теплообменнике опреснительной установки с контактным теплообменом испаряемой воды и пара.

Показана возможность компенсации тепловых потерь за счет прямой дополнительной подачи тепла сжатому пару и снижения затрат энергии на испарение в области малых перепадов температур между сжатым и циркуляционным паром.

Предлагаемой решено обеспечивает работоспособность опреснительной установки с контактным теплообменом на уровне соответствующем многокорпусной установки с числом корпусов больше двадцати.

Список литературы

1. *Котов В.М.* Возможности опреснительной установки с контактным теплообменником. // Атомная энергия. Т. 120. Вып. 3, март 2016. С. 142-147.
2. *Котов В.М.* Опреснительная установка с контактным теплообменником и способ её работы. // Инновационный патент Республики Казахстан № 28118. Бюл. «Промышленная собственность», 2014. № 2. С. 40.
3. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 784 с. С. 395.
4. *Тарасов Ф.М.* Выпарные процессы и установки. Л. Ленинградский технологический институт холодильной промышленности, 1962. 154 с.
5. *Котов В.М.* Роторно-лепестковые тепловые машины // Academy, № 3 (18), 2017, С. 11-22.