

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПАРИВАНИИ ЧЕРНЫХ СУЛЬФАТНЫХ ЩЕЛОКОВ

Отработанные при варке древесины черные сульфатные щелока содержат значительное число накипеобразователей, образующих накипь на поверхности теплообмена в процессе их выпаривания. Термическое сопротивление накипи теплопередаче достигает 50 % и более от общего, что значительно снижает производительность батарей. Поэтому знание условий выпаривания, позволяющих грамотно эксплуатировать, оптимизировать режимы работы выпарных станций и, тем самым снижать накипь и ее термическое сопротивление, является весьма актуальным.

Исследования по теплообмену при выпаривании пенных черных щелоков, начатые с 1975 года, проведены на 14 действующих выпарных станциях целлюлозно-бумажных предприятий и на стендовых установках [1]. Экспериментальные установки представляли собой однотрубные вертикальные аппараты натуральных геометрических размеров с восходящим и гравитационным течением раствора, работающие по замкнутому циркуляционному контуру, обогреваемые паром и с электрообогревом [2, 3, 4]. В качестве рабочих растворов для стендовых исследований использовалась техническая вода, черный сульфатный щелок и водный предгидролизат в диапазоне режимных параметров работы промышленных выпарных батарей. Режимные параметры при проведении опытов изменялись в диапазоне изменения рабочих параметров выпарных батарей.

На установках измерялись: распределения температур раствора и стенки трубы; плотности теплового потока; значений истинного объемного и расходных паросодержаний; коэффициентов теплоотдачи по длине трубы, скоростей раствора и парожидкостной смеси; пьезометрического уровня трубы.

В результате анализа массива экспериментальных данных при кипении (при восходящем течении) и испарении (при гравитационном течении) растворов были выявлены границы режимов течения двухфазного потока, отличающиеся условиями и интенсивностью теплообмена. Получены расчетные зависимости по теплообмену для каждого из выделенных участков и для всей кипятильной трубы в целом.

Проведенные опыты при кипении в трубе воды и растворов показывают что, эффективная работа выпарных аппаратов обусловлена совместным воздействием на теплообмен значений режимных параметров: тепловой нагрузки, скорости циркуляции, концентрации раствора и его недогрева до состояния насыщения. Это воздействие проявляется через механизм формирования и перераспределения по высоте кипятильной трубы зон с различными режимами течения и кипения. Характеристикой перераспределения этих зон является пьезометрический уровень в трубе. Он является функцией всех указанных режимных параметров процесса. Используя экстремальный характер этой зависимости можно определить наиболее экономичные с точки зрения передачи теплоты режимы работы кипятильных труб. При этом наряду с удовлетворительной теплоотдачей происхо-

дит меньшее загрязнение труб. Показано, что в зависимости от величины пьезометрического уровня значение коэффициента теплоотдачи для плотных щелоков может быть выше, чем для средних и слабых. Этот факт указывает на более сильную зависимость теплоотдачи от гидродинамики процесса кипения, чем от плотности раствора.

В результате визуальных наблюдений и анализа экспериментальных данных по теплоотдаче в условиях гравитационного течения черного щелока в состоянии насыщения и недогретого до этой температуры получено, что процесс выпаривания при тепловых потоках до  $35 \text{ кВт/м}^2$  происходит в виде испарения с поверхности пленки; подавление пузырькового кипения при выпаривании растворов должно иметь существенное значение для технологических процессов выпаривания, так как снижает вероятность образования накипи. Получены расчетные зависимости теплоотдачи при испарении щелока.

Для условий восходящего парожидкостного потока по предельным значениям выходных паросодержаний определена оптимальная скорость питания раствором кипящих труб и установлен необходимый для обеспечения данного режима пьезометрический уровень труб выпарного аппарата.

В диапазоне изменения режимных параметров работы выпарных батарей получены зависимости критических плотностей теплового потока от расходных паросодержаний для разных концентраций выпариваемого раствора. Поддержание плотностей ниже критических приводит к значительному снижению накипеобразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов В.А. Результаты промышленных исследований режимов работы выпарных станций ЦБП и их сопоставление по эффективности выпаривания [Текст] / В.А. Суслов // Изв. ВУЗов. Лесной журнал.- 2005.- № 1-2.- С. 168-172.

2. Суслов В.А. Исследование теплообмена при кипении отработанных щелочных растворов в трубах выпарных аппаратов [Текст] / В.А. Суслов // Теплоэнергетика.- 2005.- № 8.- С. 68-71.

3. Суслов В.А. Зависимость локальных коэффициентов теплоотдачи при кипении от параметров и структур двухфазных пенообразующих водных растворов [Текст] / В.А. Суслов // Теплоэнергетика.- 2005.- № 9.- С. 74-77.

4. Суслов В.А. Исследование гидродинамики и теплоотдачи при гравитационном стекании пленки сульфатного щелока в вертикальной трубе выпарного аппарата [Текст] / В.А. Суслов, Г.В. Рижинашвили // Целлюлоза. Бумага. Картон.-2005.- № 5.- С. 68-71