



УДК 676.164.3.082.3

*В.А. Сулов*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЫПАРНЫХ СТАНЦИЙ ЦБК И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПАРИВАНИЯ**

Проведен анализ эффективности работы выпарных станций Сегежского, Светогорского, Архангельского, Котласского ЦБК и Братского ЛПК в зависимости от тепловой нагрузки, температурных напоров и концентрации выпариваемого щелока; сопоставлены их основные теплотехнические характеристики по испарительной способности.

*Ключевые слова:* исследования, выпарные станции, выпарные аппараты, батарея, тепловая эффективность, коэффициенты теплопередачи, плотность теплового потока, тепловые нагрузки, теплоотдача, температурный напор, черный сульфатный щелок, концентрация щелока.

Исследование тепловых режимов работы выпарных станций проводили с целью определить диапазон изменения режимных параметров работы выпарных аппаратов и их тепловой эффективности. Аппараты станций, на которых проводили исследования, были длиннотрубными однопроходными с подъемным движением упариваемого раствора.

Параметры, характеризующие работу выпарных станций, контролировали с помощью манометров, мановакууметров, термометров и термопар, установленных на аппаратах, контрольно-измерительных приборов щитов управления батареями. Концентрацию раствора на входе в выпарные аппараты и на выходе из них измеряли ареометрами для последующего расчета тепловых нагрузок. Для проверки полученных результатов составляли материальные и тепловые балансы каждого аппарата и батареи в целом. По балансовым величинам определяли недостающие значения для расчета коэффициентов теплопередачи и характеристик работы выпарных аппаратов при различных режимах [2].

Объекты исследования:

на Сегежском ЦБК – выпарная батарея фирмы «Розенблад» производительностью 140 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 8 аппаратами; выпарная батарея фирмы «Розенлев-Свенсон» производительностью 160 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой противоточной схеме питания корпусов и укомплектованная 6 аппаратами;

на Светогорском ЦБК – выпарная батарея фирмы «Энсо-Гутцейт» производительностью 187 т/ч по выпаренной воде, работающая по пятиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 5 аппаратами;

на Архангельском ЦБК – выпарная станция фирмы «Энсо-Гутцейт» производительностью 116 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой смешанной схеме питания корпусов и укомплектованная 6 аппаратами;

на Котласском ЦБК – 2 выпарные батареи фирмы «Розенблад» производительностью 125 и 135 т/ч по выпаренной воде, работающие по пятиступенчатым противоточным схемам питания корпусов и укомплектованные каждая 6 аппаратами; выпарная батарея фирмы «Парсон и Виттемор» производительностью 220 т/ч по выпаренной воде, работающая по шестиступенчатой противоточной схеме питания корпусов и укомплектованная 7 аппаратами;

на Братском ЛПК – 7 выпарных батарей фирмы «Розенблад» производительностью 100 (2 батареи), 160 (3 батареи) и 219 т/ч (2 батареи) по выпаренной воде, работающие по шестиступенчатым смешанным схемам питания корпусов и укомплектованные соответственно 7, 8 и 6 аппаратами.

Выпарные станции (без учета концентраторов) работали в следующем диапазоне режимных параметров: концентрация щелока на входе в кипятильные трубы аппаратов – 17...50 % абс. сухих веществ; давление греющего пара в кипятильниках выпарных аппаратов – 0,04 ... 0,35 мПа; давление вторичного пара в сепараторах аппаратов – от 0,015... 0,200 мПа; скорость циркуляции раствора  $W$  – 0,005... 0,035 м/с; температура черного сульфатного щелока на входе в кипятильные трубы – от недогрева до температуры насыщения  $\Delta t_n = 16,0$  °С до перегрева  $\Delta t_n = 20$  °С; коэффициент теплопередачи в аппаратах – 150...3000 Вт/(м<sup>2</sup> · °С); плотность теплового потока – 1...50 кВт/м<sup>2</sup>.

Как следует из рис. 1 зависимость коэффициента теплопередачи  $K$  от концентрации  $B$  щелока в корпусах обследованных батарей обратно пропорциональна. Особенно резкое снижение  $K$  отмечено в области малых тепловых нагрузок, до 7 кВт/м<sup>2</sup>. В этом случае у аппаратов, работающих с большой длиной экономайзерного участка (высокие значения недогрева раствора при противоточных схемах питания), развитое кипение происходит на ограниченном участке кипятильных труб. На большей части кипятильных труб (где при низких скоростях раствора его вязкость имеет определяющее значение) теплота передается согласно законам конвекции. С увеличением плотности теплового потока раствор прогревается более интенсивно, длина экономайзерного участка трубы уменьшается, а объем трубы, занимаемый зонами с развитым кипением (где вязкость не является определяющей), увеличивается. Поэтому снижение коэффициента теплопередачи с увеличением концентрации замедляется. Представленное изменение характера теплоотдачи при выпаривании растворов определяется возрас-

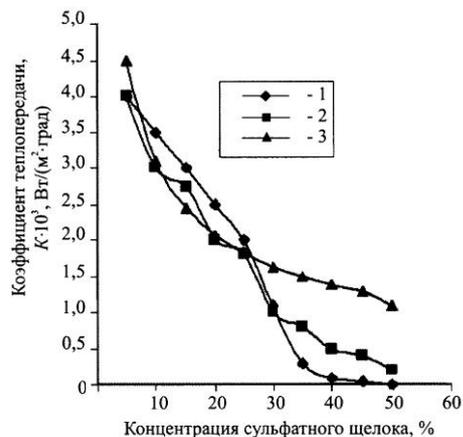


Рис. 1. Зависимость интенсивности выпаривания от концентрации сульфатного щелока: 1 –  $q < 7$  кВт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q < 15$ ; 3 –  $q < 30$  кВт/м<sup>2</sup> ( $q$  – плотность теплового потока)

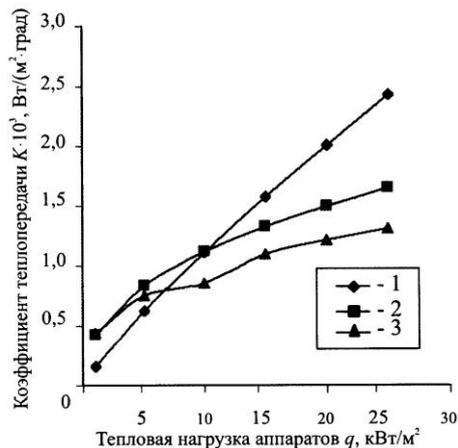


Рис. 2. Зависимость интенсивности выпаривания от тепловой нагрузки: 1 –  $B < 30$  % а.с.в.; 2 –  $B < 40$ ; 3 –  $B < 50$  % а.с.в. ( $B$  – концентрация щелока)

тающим влиянием тепловой нагрузки на интенсивность теплоотдачи и связанным с этим перераспределением режимов течения кипящего раствора в кипятильных трубах выпарных аппаратов, имеющих разную интенсивность теплообмена.

Как видно из рис. 2, с увеличением плотности теплового потока значения  $K$  выпарных корпусов увеличиваются, а влияние тепловой нагрузки с ростом концентрации щелока падает.

Увеличение температурного напора в выпарном аппарате (разность температур греющего пара и кипящего раствора), как показано на рис. 3, приводит к снижению коэффициента теплопередачи. Согласно представленным данным, в диапазоне  $\Delta t = 5 \dots 10$  °С, при одних и тех же тепловых нагрузках и температурных напорах более высокие концентрации соответствуют более высоким значениям коэффициентов теплопередачи.

Для сравнения эффективности работы выпарных батарей было произведено сопоставление их основных теплотехнических характеристик. Эффективность работы выпарных станций в настоящее время оценивают по сле-

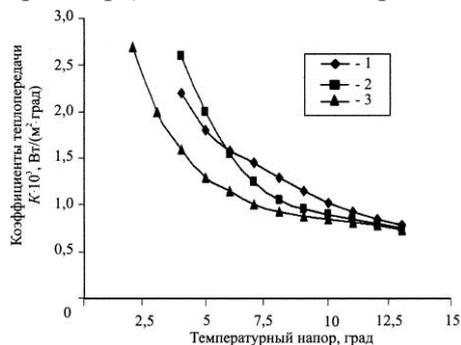


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопередачи от температурного напора в выпарном аппарате: 1 –  $b = 40$  %; 2 – 30; 3 – 20 % а.с.в. ( $q = 10$  кВт/м<sup>2</sup>)

## Оценка испарительной способности выпарных станций

Предприятие	Фирма-поставщик станции	Производительность по выпаренной воде, т/ч	Концентрация сух. веществ щелока до/после выпаривания, % а.с.в.	Число корпусов, шт.	Количество выпариваемой воды $W_y \cdot 10^4$ , т/(т · м <sup>2</sup> )
Светогорский ЦБК	Энсо-Гутцейт	187	22/62	5	3,7
Архангельский ЦБК	Энсо-Гутцейт	116	24/55	6	2,5
Котласский ЦБК	Розенблад	130	24/49	6	2,6
	Парсон и Виттемор	225	24/49	7	2,9
Братский ЛПК	Розенблад	160	22/50	7	5,4
	Розенблад	100	22/50	6	7,5
	Розенблад	220	22/56	6	3,5
Сегежский ЦБК	Розенблад	140	22/60	8	2,8
	Розенлев-Свенсон	160	22/62	6	12,0

дующим показателям [1]: удельное количество испаряемой воды на 1 т острого пара; удельное количество испаряемой воды с 1 м<sup>2</sup> поверхности теплообмена.

Представляется целесообразным для практических целей в качестве критерия оценки испарительной способности выпарных станций использовать второй показатель  $W_y$ , т/(т · м<sup>2</sup>) [3]:

$$W_y = \frac{W}{DF},$$

где  $W$  – количество испаряемой воды;

$D$  – расход греющего пара;

$F$  – поверхность теплообмена станции.

Результаты сопоставления характеристик обследованных выпарных станций приведены в таблице.

Лучшие показатели имели станции, которые при относительно невысокой производительности обладали небольшой поверхностью теплообмена (малое количество кипяtilьных труб). Это позволило уменьшить влияние ряда нежелательных явлений, таких как тепловая развертка труб и т.д. Кроме того, при правильно выбранных и относительно небольших поверхностях теплообмена батареи значительно легче эксплуатировать [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Непенин Ю.Н. Технология целлюлозы. т. 2 / Ю.Н. Непенин. – М.: Гослесбумиздат, 1990.

2. *Суслов В.А.* Влияние режимных параметров на интенсивность теплообмена при кипении сульфатного черного щелока в длиннотрубных выпарных аппаратах: автореф. ... канд. техн. наук / В.А. Суслов. – Л.: ЛТИЦБП, 1982.

3. *Суслов В.А.* Сопоставление тепловой эффективности выпарных станций сульфатного производства, поставляемых на предприятия ЦБП зарубежными фирмами / В.А. Суслов, В.Л. Мовсеян // Машины и оборудование ЦБП: межвуз. сб. научн. тр., вып. 5. – Л.: ЛТИ ЦБП, 1977.

4. *Gudmundson G.*, Heat transfer in industrial black liquor evaporation plants / G. Gudmundson. – Geteborg: Chalmers University of Technology, 1973.

С.-Петербургский технологический университет растительных полимеров

*V.A. Suslov*

### **Industrial Research Outcomes of Evaporating Station Modes at PPM and their Comparison according to Evaporating Efficiency**

The analysis of the operation efficiency of evaporating stations of Segezha, Svetogorsk, Arkhangelsk, Kotlas Pulp-and-paper Mills and Bratsk Forest-industrial Complex is carried out depending on thermal load, temperature drops and concentrations of the evaporated liquor; their main thermo-technical characteristics are compared according to their evaporative capacity.

---