



Целлюлоза Бумага Картон

Pulp

Paper

Board

03 [2016]

- Путешествие продолжается: на Волге и на Каме.
- И снова о газетной бумаге.
- Сообщают корреспонденты: "ЦБК": Нововинск; Набережные Челны; Ростовская область; Кондопога.
- Обзор Рынка: тарный картон; гофропродукция; макулатура; бумажные пакеты.
- Статистика: итоги работы российской ЦБП за январь-февраль 2016 г.
- Предлагают технологии: компания "BASF-SE"; "СКИФ-Спешел-Кемикалз"; Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности...
- Оборудование: выпарные станции; новые линии; покрытия валов...
- Экология: в содружестве с FSC.
- За рубежом: Германия; Финляндия; Великобритания; Нидерланды.
- Календарь выставок '2016.
- Конференция в Перми.

УДК 676.164.3.082.3

Параметры работы и варианты оптимизации выпарных станций филиала ОАО «Группа Илим» в Братске

В. А. Суслов, СПб ГТУРП;
А. А. Поздняков, заместитель
генерального директора группы
«Илим» – директор филиала
в г. Братск

Основной продукцией целлюлозно-бумажных комбинатов является целлюлоза. Для ее получения растительные целлюлозосодержащие ткани, предварительно подвергнутые механической и химико-механической обработке, выдерживают (варят) некоторое время при определенной температуре и давлении в щелочном растворе. Раствор содержит в качестве активного реагента смесь едкого натра и сульфида натрия в соотношении примерно 70 % и 30 %. В процессе «варки» все компоненты древесной ткани за исключением целлюлозы в растворе растворяются. В результате из древесины получают полуфабрикат: техническую целлюлозу с выходом от 50 до 80 % [1].

Отработанный после варки древесины и разбавленный при промывке целлюлозы до 8-10 % абсолютно сухих веществ (а. с. в.) водный щелочной раствор называют черным сульфатным

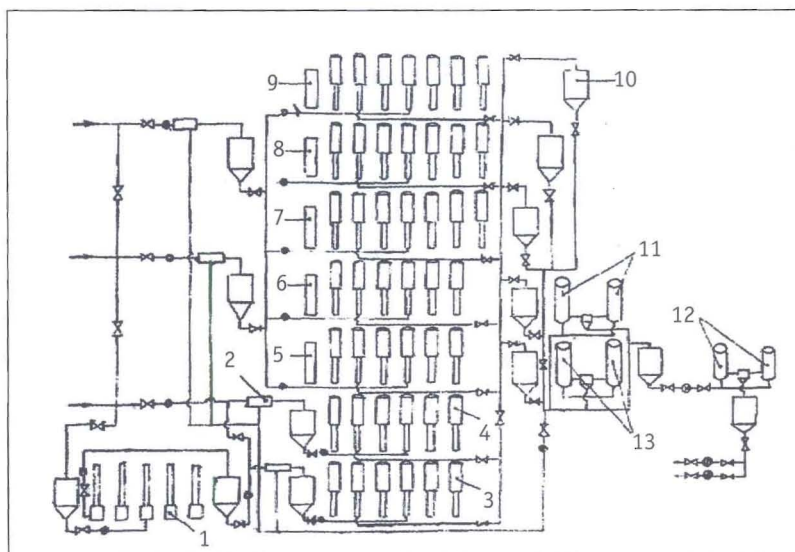


Рис. 1. Схема распределения отработанных щелоков в выпарном цехе:
1 – выпарные аппараты станции предварительного выпаривания щелоков;
2 – смесители щелоков; 3, 4 – выпарные аппараты (ВА) станций № 7 и № 6; 5, 6, 7, 8, 9 – ВА станций № 5, № 4, № 1, № 2 и № 3 соответственно;
10 – щелочные баки; 11 – концентраторы IA и IB; 12 – суперконцентраторы IC и ID; 13 – концентраторы IIA и IIB

щелоком. Его сухое вещество состоит из 1/3 неорганических и 2/3 органических веществ.

Известно, что для получения одной тонны целлюлозы наименее вредным сульфатным способом затрачивается порядка десяти тонн чистой воды, пре-

вращаемой в процессе производства в агрессивные растворы. Поэтому из соображений экологической безопасности черный сульфатный щелок подвергается комплексной обработке для высвобождения химических реагентов с целью их регенерации.

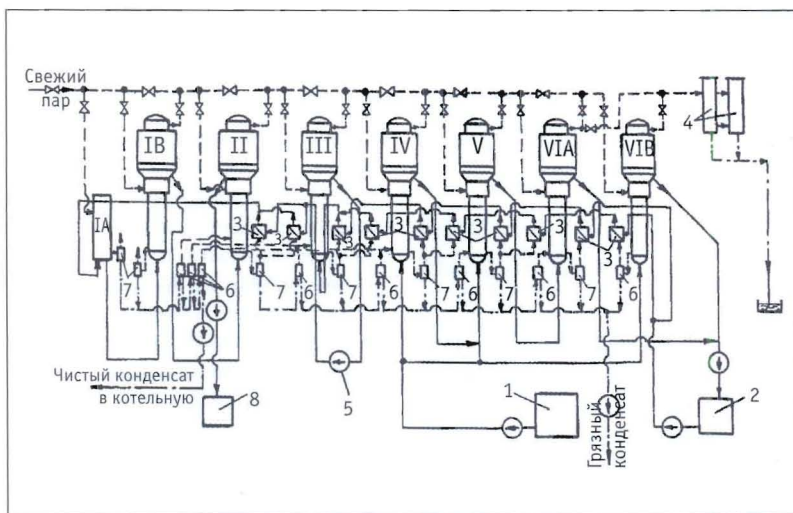


Рис. 2. Схема ВС фирмы «Rozenblad»: 1А, IB, II, III, IV, V, VIA, VIB – порядковые номера ВА; 1 – бак слабого щелока; 2 – бак полуупаренного щелока; 3 – подогреватели щелока; 4 – поверхностный конденсатор; 5 – перекачивающие насосы; 6 – расширители конденсата; 7 – конденсатоотводчики; 8 – бак крепкого щелока

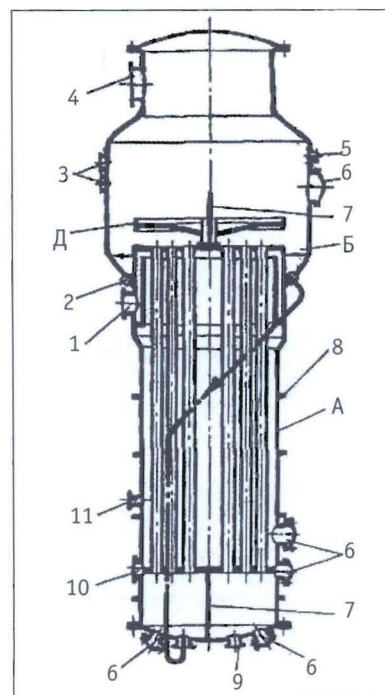


Рис. 3. Двухходовой выпарной аппарат фирмы «Rozenblad»: А – кипятильник; Б – сепаратор; Д – отражательный зонт; 1 – вход греющего пара; 2 – выход щелока; 3 – смотровое окно; 4 – выход вторичного пара; 5 – штуцер щелокоотводчика; 6 – люк; 7 – разделяющая перегородка; 8 – кольцо жесткости; 9 – вход щелока; 10 – выход пароконденсатной смеси; 11 – подвод пара от расширителя конденсата

Химикаты регенерируются для последующего использования их при варке в процессе сжигания органики в содорегенерационных котлоагрегатах (СРК), попутно генерирующих пар для производства электроэнергии и технологических нужд.

Для доведения состояния, пригодного к устойчивому сжиганию, щелок концентрируются на выпарных станциях (ВС) до концентрации 65–75 % а. с. в. Чем выше концентрация черного щелока, тем меньше в нем воды, тем качественнее осуществляется его горение, тем меньше вредных выбросов с дымовыми газами попадает в окружающую среду. Таким образом, ВС, являясь участниками процесса подготовки отработанных растворов к регенерации реагентов и получения тепловой и электрической энергии на технологических ТЭЦ, обеспечивают снижение себестоимости продукции и экологическую безопасность региона.

В настоящее время в филиале ОАО «Группа Илим» в г. Братске, вырабатывается в сутки 3450 тонн целлюлозы

различных марок. При этой производительности основной продукции в выпарной цех комплекса поступает ≈ 1410 т/ч слабых черных щелоков с концентрацией до 14 % а. с. в. Для концентрирования щелока до 70–72 % а. с. в. филиал располагает восемью ВС и тремя концентраторами. Оснащение филиала выпарным оборудованием представлено на рис. 1.

В 1964 году в эксплуатацию на филиале были введены пять ВС, изготовленных фирмой «Rozenblad». На трех из них, шестиступенчатых восьмикорпусных ВС № 1, № 2 и № 3 со смешанным питанием корпусов щелоком, производительностью 160 т/час по выпаренной воде каждая, выпаривается черный щелок, полученный от производства хвойной беленой целлюлозы, до концентрации 53 % а.с.в. Схема ВС приведена на рис. 2.

ВС укомплектована 7-ю ВА фирмы «Rozenblad» с восходящей пленкой раствора и кипятильной поверхностью ≈ 1800 м², корпусом-перегревателем 1А, не имеющим сепаратора, с поверхно-

стью теплообмена ≈ 1190 м². Трубные системы и части, соприкасающиеся со щелоком, ВА 1А, 1В и 1І выполнены из нержавеющей стали, части остальных корпусов изготовлены полностью из углеродистой стали. ВА 1В и 1І – двухходовые. Конструкция корпуса представлена на рис. 3.

Для подогрева щелока установлено 10 спиральных теплообменников 3. В схему ВС входят поверхностные

Таблица 1.

Параметры работы ВС № 1

Параметры /Корпуса	1	2	3	4	5	6А	6В
Температура греющего пара, °С	138	123	102,6	90	81,3	71,3	71,3
Температурный напор, °С	8,5	11,4	7,6	5,2	6,1	7,3	7,8
Температура кипящего щелока, °С	129,5	111,6	95,0	84,8	75,2	64,0	63,5
Температура вторичного пара, °С	124	103,6	91,0	82,3	72,3	61	61
Концентрация раствора на выходе из аппарата, % а. с. в.	42,4	52,8	35,3	27,2	29,3	31,9	26,9
Расход щелока на входе в аппарат, кг/с;	48,8	40,6	60,2	39,3	51,5	44,1	19,7
Количество выпаренной влаги, кг/с;	8,2	8,6	7,6	4,3	5,6	3,2	3,1
Коэффициент теплопередачи, кВт/(м²·К)	0,934	1,118	1,509	1,248	1,372	0,657	0,588
Эффективность выпаривания, кг/кг	0,27						

Таблица 2.

Параметры работы ВС № 4

Параметры /Корпуса	1	2	3	4	5	6
Температура греющего пара, °С	138	123,2	102,6	90	81,3	71,3
Температурный напор, °С	8,1	11,1	7,6	5,0	6,0	7,1
Температура кипящего щелока, °С	129,9	112,1	95,0	84,9	75,3	64,2
Температура вторичного пара, °С	124,2	103,6	91	82,3	72,3	61
Концентрация раствора на выходе из аппарата, % а.с.в.	39,8	48,4	33,7	26,6	28,6	29,5
Расход щелока на входе в аппарат, кг/с;	27,4	23,3	31,3	21,2	28,0	34,9
Количество выпаренной влаги, кг/с;	4,7	4,6	3,6	3,3	3,4	3,7
Коэффициент теплопередачи, кВт/(м²·К)	1,117	1,184	1,321	1,794	1,457	1,423
Эффективность выпаривания, кг/кг	0,2					

конденсаторы 4, баки слабого 1, полуупаренного 2, крепкого 8 щелока и вспомогательное оборудование.

Предварительно уплотненный слабый щелок из бака 1 насосом подается параллельно в IV, V и VIA BA в количествах соответственно 50; 25 и 25 % от общего расхода. Из IV BA щелок самотеком последовательно переходит в V, VIA и VIB BA, далее насосом подает-

ся в бак полуупаренного щелока 2, где производится основной съем мыла. Из бака 2 насосом по двум параллельным трубопроводам щелок прокачивается через подогреватели 3 и противоточно подается в III BA, из которого насосом через два параллельно установленных подогревателя 3 щелок подается в двухходовой корпус – подогреватель IA. В корпусе IA щелок перегревается

относительно температуры кипения. Образовавшаяся парощелочная смесь переходит в BA IB. Из BA IB щелок самотеком поступает в II BA, а из него насосом подается в бак крепкого щелока 8, откуда откачивается для дальнейшего выпаривания в концентраторах. Концентрация щелока после ВС составляет ≈ 50 % а. с. в.

Корпус IA и IB BA обогреваются острым паром давлением ≈ 0,35 МПа и температурой 138 °С. BA II, III, IV и V обогреваются соответственно вторичным паром BA IB, II, III и IV. BA VIA и VIB работают по пару параллельно и обогреваются паром V BA. Вторичный пар из VIA и VIB BA поступает на конденсационную установку, где конденсируется в поверхностном конденсаторе 4.

Чистый конденсат из BA IA и IB последовательно проходит через три расширителя конденсата 6 и насосом откачивается на ТЭЦ. Пары вскипания чистого конденсата из расширителей направляются последовательно в BA II, III и IV, восполняя в них дефицит греющего пара. Неконденсирующиеся газы из корпуса IA и IB BA отводятся через конденсатоотводчики 7 в атмосферу. Неконденсирующиеся газы из подогревателей 3 через дроссельные шайбы направляют по общему трубопроводу в конденсатор, а конденсат подогревателей 3 возвращается в конденсатоотводчик соответствующего корпуса и с конденсатом этого корпуса направляется в расширитель конденсата следующего по ходу пара корпуса [2]. При такой схеме достигается максимальное использование тепла сдувочных газов. Рассчитанные параметры режима работы ВС № 1 представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, ВС обеспечивают проектную производительность при относительно высокой тепловой эффективности.

Черный щелок, полученный от производства целлюлозы высокого выхода, выпаривается до концентрации 47 % на двух шестиступенчатых, семикорпусных

со смешанным питанием корпусов ВС № 4 и № 5 фирмы «Rozenblad» проектной производительностью 99 т/час по выпаренной воде каждая. Поверхность теплообмена корпуса-перегревателя составляет $\approx 540 \text{ м}^2$, кипятильная поверхность остальных ВА – $\approx 1260 \text{ м}^2$. Технологическая схема этих ВС практически идентична схеме представленной на рис. 2. Отличие в схемах ВС заключается в отсутствии корпуса VIB и меньшей поверхности теплообмена ВА. Рассчитанные параметры режима работы ВС № 4 представлены в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что рассмотренные ВС (1964 г. ввода в эксплуатацию) также могут работать на проектной производительности. Проведенные тепловые расчеты ВС № 4 и 5 показали возможность выпаривания щелока до требуемой концентрации 55 а. с. в.

Для выпаривания черных щелоков из производства беленой целлюлозы в 1974 г. на филиале введены в эксплуатацию две ВС фирмы «Rozenblad» № 6 и № 7 производительностью по 220 т/час выпаренной воды каждая. Поверхность теплообмена каждого ВА составляет $\approx 2800 \text{ м}^2$. Отличие данных технологических схем ВС от представленной на рис. 2. заключается отсутствием на ВС № 6 и № 7 корпуса VIB, корпуса-перегревателя и большего числа подогревателей щелока.

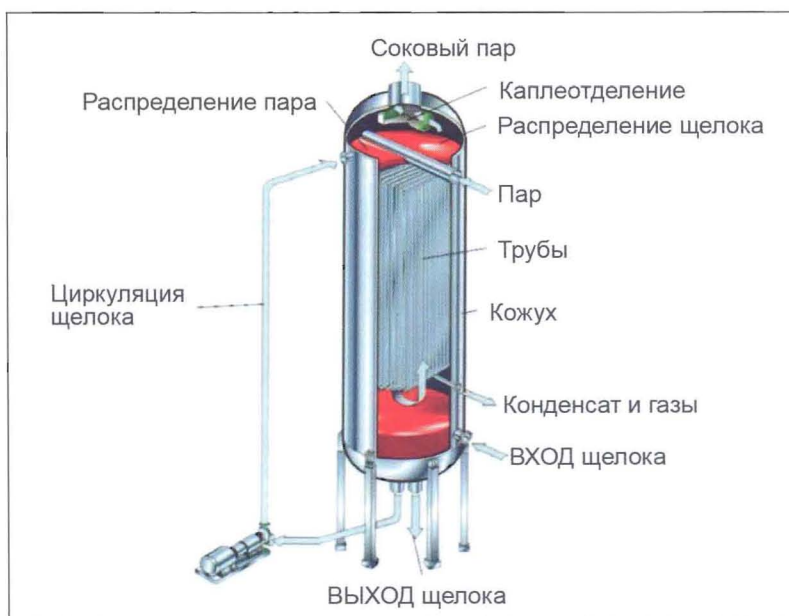


Рис. 4. Технологическая схема работы концентратора

Питание станции паром осуществлялось следующим образом: в кипятильник I ВА подавался свежий пар от турбины, а в II ВА остатки вторичного пара, подаваемого от концентратора на станцию предварительного выпаривания (СПВ). Рассчитанные параметры режима работы ВС № 6 с концентратором производства беленой целлюлозы представлены в табл. 3.

Из данных, приведенных в табл. 3 следует, что количество выпаренной влаги в ВА II (12 т/ч) в 2-3 раза меньше, чем в других корпусах. Это вызвано значительной нехваткой пара, поступающего из концентратора. Большая часть пара транспортировалась на СПВ. Малое количество выпаренной влаги в II ВА определяет недостаточную эффективность работы последующих ВА. Из-за низкой тепловой

Таблица 3.

Параметры работы ВВУ № 6 на смешанном паре								
Параметры /Корпуса	Конц. А	Конц. В	1	2	3	4	5	6
Температура греющего пара, °С	140	143	138	129	116,4	99	86,9	72,8
Температурный напор, °С	5	5	16,3	6,6	13	8,8	10,4	6,7
Температура кипящего щелока, °С	135	138	121,7	122,4	103,4	90,2	76,5	64
Температура вторичного пара, °С	129	129	117,4	117,4	100	87,9	73,8	61
Концентрация раствора на выходе из аппарата, % а.с.в.	52,8	62,6	42,7	39	36,2	25,6	28,1	31,5
Расход щелока на входе в аппарат, кг/с	32,5	58,0	32,5	66,6	82,3	83,0	70,6	
Количество выпаренной влаги, кг/с	9,0	7,7	3,4	9,1	5,75	9,2	8,4	
Коэффициент теплопередачи, кВт/(м ² *К)	1,319	0,397	0,840	0,632	2,293	0,822	1,195	
Эффективность выпаривания, кг/кг				0,28				

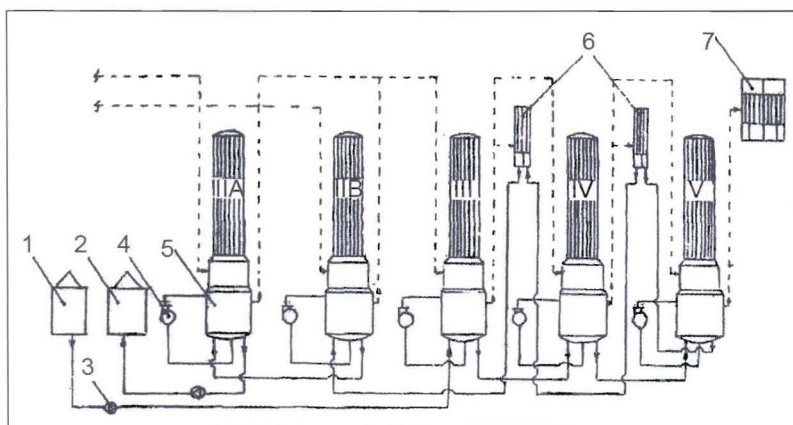


Рис. 5. Схема ВС для выпаривания щелоков в аппаратах с падающей пленкой фирмы «Metso Power»: IIA, IIB, III, IV, V – корпуса установки; 1 – питательный резервуар; 2 – бак уплотненного щелока; 3 – питательный насос; 4 – циркуляционный насос; 5 – выпарные аппараты; 6 – подогреватели щелока; 7 – поверхностный конденсатор

нагрузки коэффициенты теплопередачи в корпусах ниже, чем приведенные в табл. 1 и 2, что свидетельствует о неэффективном распределении зон кипения в кипятильных трубах выпарных аппаратов.

В целях снижения серосодержащих выбросов от СРК с продуктами сгорания в атмосферу в 1993 году введены в эксплуатацию два двухступенчатых концентратора фирмы «ALSTREM» с поверхностью теплообмена «ламельного» типа, равной 1155 м². Схема концентратора приведена на рис. 4. Производительность концентратора составляла 28,8 т/ч по выпаренной воде. Концентрация уплотненного щелока достигала 60-62% а.с.в. Для обогрева концентраторов планировалось подавать свежий пар давлением 0,4-0,5 МПа. Вторичный пар от концентраторов предполагалось направлять в третьи корпуса выпарных станций № 6 и 7. Конденсат греющего пара от выпарных станций и установки концентраторов направляется на участок химводоочистки.

Для увеличения производительности концентраторов по выпаренной влаге до 42 т/час каждого и концен-

трации щелока на выходе из них до 68 % а. с. в., концентраторы подверглись реконструкции. Тип концентратора с гравитационным течением выпариваемого раствора на наружной стенке поверхности остался прежним, но кипятильная поверхность стала трубчатой и увеличена до 1865 м². Вторичные пары из концентраторов направлены в ВА II ВС № 6 и 7.

Как видно из технологической схемы, приведенной на рис. 4, концентратор практически лишен сепаратора: его рабочего объема, где должна осуществляться сепарация вторичных паров. Этот факт подтвердила ревизия корпуса II ВС № 7, показавшая при увеличенной производительности концентратора значительный занос щелоком (по паровой стороне) межтрубного пространства кипятильника ВА из-за неудовлетворительной сепарации вторичного пара.

Для обеспечения надежной сепарации вторичных паров необходимо:

– увеличить в концентраторах рабочий объем для сепарации вторичного пара перед каплеуловителем с высотой не менее 1 м за счет увеличения головки аппарата [3];

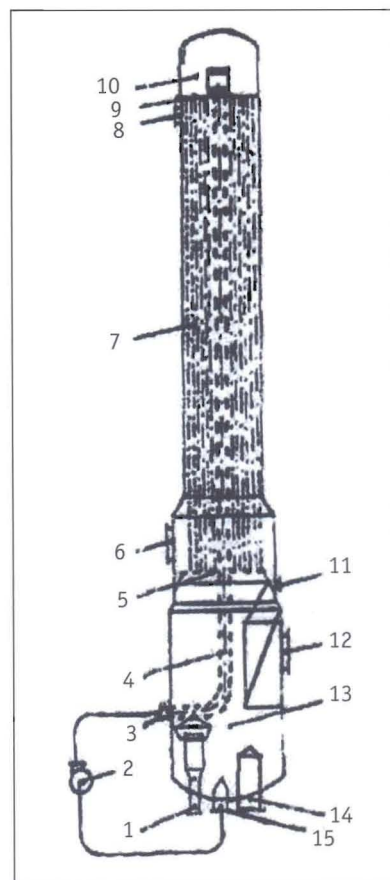


Рис. 6. Выпарной аппарат с гравитационным течением выпариваемого раствора фирмы «Метсо Пауэр»:

1 – патрубок входа выпариваемого щелока; 2 – циркуляционный насос; 3 – вход щелока в циркуляционную систему; 4 – подъемная труба; 5 – нижняя трубная решетка; 6 – вход греющего пара; 7 – кипятильный пучок; 8 – газоотводный патрубок; 9 – верхняя трубная решетка; 10 – головка аппарата; 11 – патрубок выхода конденсата; 12 – патрубок выхода вторичного пара; 13 – сепаратор аппарата; 14 – патрубок выхода выпаренного щелока; 15 – патрубок выхода циркулирующего щелока.

– при невозможности реконструкции концентраторов – установить на всех паропроводах вторичного пара, связывающего концентраторы с корпусами ВС, щелочные ловушки с тангенциальным вводом парощелочной смеси [4].

Для снижения серосодержащих выбросов в атмосферу от СРК при качественном сжигании щелока повышенной концентрации, $\approx 75\%$ а. с. в., к существующим концентраторам последовательно добавлены суперконцентраторы, производительностью 27,2 т/час по выпаренной влаге. Давление и температура поступающего на суперконцентраторы редуцированного пара соответственно равны $P = 0,4$ МПа, $T = 200^\circ\text{C}$. Установка суперконцентраторов обеспечила содержание вредных выбросов в атмосферу в допустимых пределах.

Для улучшения экологической обстановки на предприятии произведен также монтаж установки дезодорации, на которую направляются грязные конденсаты со всех ВС. Установка состоит из реактора каталитического окисления и бака-сборника очищенного конденсата.

Серосодержащие газы от ВС направляются на сжигание в корьевой котел.

Для обеспечения процесса регенерации щелков при увеличении производительности филиала по выпуску целлюлозы произведен монтаж ВС (СПВ) со смешанным питанием корпусов щелоком, производительностью 175 т/час по выпаренной влаге (рис. 5). СПВ укомплектована пятью ВА фирмы «Metso Power» (рис. 6), выпаривающими гравитационно стекающий черный щелок до концентрации $\approx 30\%$ а. с. в. по четырехступенчатой схеме. Поверхность теплообмена ВА IIA и IIB составляет 900 м² каждый; III ВА – 1300; IV ВА – 1200 и VBA – 1500 м². ВА IIA и IIB обогреваются вторичными парами от концентратора беленой целлюлозы и установки дезодорации соответственно. Давления греющих паров по

Таблица 4.

Параметры работы СПВ

Параметры /Корпуса	IIA	IIB	3	4	5
Температура греющего пара, °C	127	105	95,1	85,2	73,6
Температурный напор, °C	27,7	6,5	7,6	9,1	10,7
Температура кипящего щелока, °C	99,3	98,5	87,5	76,1	62,9
Температура вторичного пара, °C	96,1	96,1	86,2	74,6	61,0
Концентрация раствора на выходе из ВА, % а.с.в.	31	26,4	18,5	20,5	23,1
Расход щелока на входе в аппарат, кг/с;	85,7	92,7	129,8	116,7	104
Количество выпаренной влаги, кг/с;	13,0	5,9	12,6	14,2	13,2
Коэффициент теплопередачи, кВт/(м ² ·°C)	1,324	2,36	3,205	2,679	1,731
Эффективность выпаривания, кг/кг	0,349				

данным расчета составляют $\approx 2,5 \cdot 10^5$ и $1,2 \cdot 10^5$ Па и температуры – 127 и 105 °C соответственно. Вторичные пары IIA и IIB ВА направляются в III ВА. ВА IV и V обогреваются вторичным паром впереди стоящего ВА. Вторичный пар из ВА V поступает на конденсационную установку.

Слабый щелок из бака 1 насосом подается в III ВА, работающий с гравитационным течением пленки раствора внутри труб и принудительной его циркуляцией. Из III ВА щелок прямо-током последовательно переходит в аналогичные ВА IV и V, прокачивается через теплообменники и противоточно подается в IIB ВА и далее в IIA. Выпаренный до 31 % а. с. в. раствор направляется в смеситель щелока. Результаты теплового расчета режима СПВ сведены в табл. 4.

Как было отмечено выше, станция предварительного упаривания щелоков укомплектована аппаратами, работающими при гравитационном течении выпариваемого раствора. Выпаривание пенообразующих растворов слабой концентрации в таких условиях связано с интенсивным пенообразованием, вызывающим множество негативных моментов, влияющих на эффективность работы аппаратов [5, 6, 7]. Поэтому подобные станции предназначены для выпаривания концентрированных растворов.

СПВ работает по четырехступенчатой схеме, в которой вторичные пары из ВА IIA и IIB направляются в корпус III, то есть ВА IIA и IIB представляют одну ступень выпаривания. Для схем с малым числом ступеней выпаривания характерен перерасход греющего пара. Для повышения тепловой эффективности станцию рекомендуется перевести на пятиступенчатую схему, направив вторичные пары из корпуса IIA в корпус IIB, при этом обеспечив станцию соответствующими средствами КИПиА для управления режимами работы СПВ и согласования параметров вторичных паров, поступающих от концентратора беленой целлюлозы и установки дезодорации.

Для работы ВА при гравитационном течении раствора требуются более низкие значения температурных напоров, чем у ВА, работающих при поднимающейся пленке. Следовательно, подобные ВС могут комплектоваться большим числом ВА при сохранении параметров греющего пара, что обеспечивает повышенную производительность и тепловую эффективность ВС.

Из составленного материального баланса цеха следует, что производительность всех выпарных станций по щелоку (≈ 1690 т/ч) превышает количество поступающего слабого щелока в выпарной цех (≈ 1431 т/ч). Разница в расходах определяется добавками

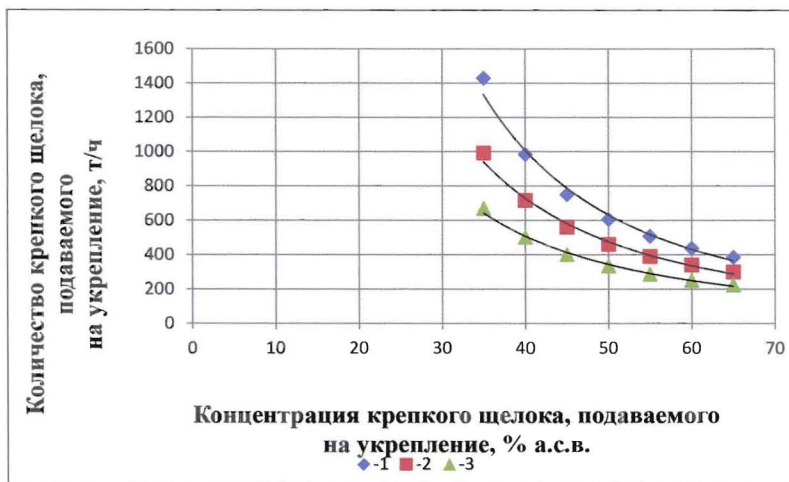


Рис. 7. $G_{кр} = f(b_{кр})$: 1 – $b_{укр} = 24$; 2 – $b_{укр} = 22$; 3 – $b_{укр} = 20$ % а. с. в.

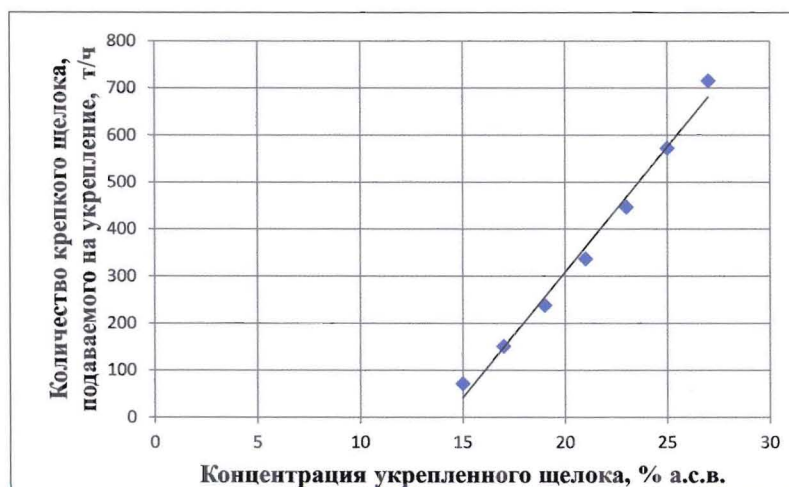


Рис. 8. $G_{кр} = f(b_{укр})$

крепкого щелока к слабому для его укрепления в баках смешения.

Черный щелок для выпаривания поступает из промывного отдела со средней концентрацией 13,5 % а. с. в. Средняя концентрация щелока, подаваемого на смесители после всех выпарных батарей для укрепления слабого, составляет ≈ 45 % а. с. в., что крайне занижено. При этом средняя концентрация щелока, направляемого на ВС

для выпаривания является завышенной и равна $\approx 24,3$ % а. с. в.

Изменение расхода крепкого щелока, подаваемого на укрепление в зависимости от его концентрации при постоянных концентрациях слабого $b_{сл}$ и укрепленного щелоков $b_{укр}$: $G_{кр} = f(b_{кр})$, представлено на рис. 7, где $G_{кр}$ и $b_{кр}$ – соответственно расход и концентрация крепкого щелока, подаваемого на укрепление.

На рис. 8 показано изменение расхода крепкого щелока, подаваемого на укрепление в зависимости от концентрации укрепленного щелока:

$G_{кр} = f(b_{укр})$, где $b_{укр}$ – концентрация укрепленного щелока.

Как следует из анализа рис. 7 и 8, низкая концентрация щелока, подаваемого на укрепление, и высокая концентрация укрепленного щелока приводят к лишним расходам выпариваемого на ВС раствора.

Для избегания перерасходов пара на выпаривание и электроэнергии при перекачке потока щелоков, как следует из рис. 7 и 8, необходимо стремиться подавать крепкий щелок на укрепление с концентрацией не ниже 55 % а. с. в., а укреплять слабый до концентрации не выше 22 % а. с. в. [8, 9].

Для укрепления 1410 т/ч слабого щелока, концентрацией 14 % а. с. в. до концентрации 22 % а. с. в., требуется 340 т/ч щелока концентрацией 55 % а. с. в. Такой расход крепкого щелока для укрепления могут обеспечить две батареи, например ВВУ № 1, № 2. Остальные выпарные установки, включая станцию предварительного выпаривания, должны выпаривать щелок от 22 % до 55 % для дальнейшего его концентрирования в концентраторах.

Список литературы

1. Технология целлюлозы. В 3-х т. Т. II. Непенин Ю. Н. Производство сульфатной целлюлозы: Учебное пособие для вузов. – 2 – изд., перераб. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 600 с. – ISBN 5 – 7120 – 0266 – 3.

2. Суслов В. А. Основные процессы при выпаривании щелоков целлюлозного производства: учеб. пособие для вузов – СПб.: СПбГТУ РП, 1998. – 92 с.

3. Кутепов А. М., Стерман Л. С., Стюшин Н. Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании: Учеб. пособие для ВТУЗов. – 3-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.: ил.

4. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 1 / С74 Пер. с англ., под

ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с. ил.

5. **Дорошук В. Е.** Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

6. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учеб. пособие для вузов / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 472 с.: ил.

7. **Тобилевич Н. Ю.** Кризис теплообмена при испарении в стекающей пленке жидкости при спутном движении жидкости и вторичного пара // Теплофизика и гидрогазодинамика процессов кипения и конденсации. Т. 1. Пузырьковое, переходное и пленочное кипение. Кризисы кипения: тез. докл. Всесоюз. конф. – Рига, 1982. – С. 189-190.

8. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник /

А. М. Бакластов, В. М. Бродянский, Б. П. Голубев и др.; Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с., ил.

9. **Суслов В. А.** Повышение эффективности выпаривания отработанных варочных растворов целлюлозного производства. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, СПбГПУ, 2006.

Есть заменитель древесины?

Эта работа новосибирских генетиков может кардинально решить проблему печально известных ЦБК. Дело в том, что ученые нашли принципиально новый источник целлюлозы. Это сырье необходимо для производства бумаги, красок, клея, стройматериалов, искусственных волокон, пороха и т. д. Под топор идут многие тысячи гектаров леса. На этом ущерб природе не заканчивается, а только начинается. Огромное количество бревен сплавляется по рекам, часть древесины тонет и гниет, отравляя воду. Но главные проблемы возникают уже на целлюлозно-бумажном комбинате. При варке целлюлозы применяется агрессивная «химия» и образуются ядовитые отходы, отравляющие все живое. Достаточно вспомнить **Байкальский ЦБК**, который был закрыт после многочисленных протестов общественности. Но на берегах уникального озера осталось более 6 миллионов кубометров опасных отходов.

Ученые из **Института цитологии и генетики СО РАН** предлагают заменить сырье: делать целлюлозу не из деревьев, а из дальневосточного тростника. В перспективе он может спасти от масштабных вырубок сибирскую тайгу.

«Первоначально перед нами была поставлена задача решить «оборонную» проблему, – рассказывает замдиректора института **Сергей Пельтек**. – Как известно, из высококачественной целлюлозы получают порох. Но после распада СССР использовавшийся для этого хлопок стал импортным продуктом. Чем его заменить?

Мы стали перебирать свою коллекцию и обратили внимание на тростник под названием *мискантус*. Этот злак использовался для укрепления берегов озера Чаны в Новосибирской области, у него мощная корневая система, и он может расти на слабо засоренных почвах. Мискантус неприхотлив, быстро растет и образует большую биомассу с высоким содержанием целлюлозы.

Но дикий тростник имел и свои недостатки, особенно для суровых условий Сибири. Да и корневая система оставляла желать лучшего. Ученые решили проблемы. Во-первых, с помощью методов геномной инженерии вывели новый морозостойчивый сорт тростника – «*Мискантус Сорановский*». Во-вторых, изменили его корневую систему. «У дикорастущего предка толстые кочки мешают технике, которая обрабатывает плантации, – поясняет С. Пельтек. – Наши растения имеют очень длинные корневища и после посадки формируют ровную плантацию, удобную для применения техники».

Поскольку растение многолетнее, урожай можно собирать четверть века, получая 5-7 тонн целлюлозы с гектара, а стоимость одной тонны на мировом рынке – порядка 800 долларов. Но мало вырастить «инновационный» тростник, из него надо получить высококачественную целлюлозу. Новая технология создана учеными **Института проблем химико-энергетических технологий из наукограда Бийск**.

Надо отметить, что у этого защитника леса своя сфера применения. Дело в том, что возить тростник на большие расстояния невыгодно. По расчетам экономистов, оптимальное расстояние от поля до завода – 50-100 километров. Поэтому это должно быть компактное хозяйство площадью около 10 тысяч гектаров, в центре которого размещается фабрика по выпуску целлюлозы. По оценкам экспертов, расходы окупятся через 7 лет. В принципе сотни таких хозяйств можно размещать вдоль Транссиба, где масса пустующих земель.

Параллельно в институте разрабатывают научные основы технологии по получению целлюлозы из биомассы на основе ферментных процессов. Это позволит вообще избавиться от токсичных отходов, а также снизить затраты энергии и расход воды. Впрочем, ученые смотрят дальше и исследуют возможность перерабатывать сырье с помощью микроорганизмов в ценные химические продукты: молочную кислоту, бутанол пропандиол и даже глюкозу. «Если научиться трансформировать целлюлозу сразу в глюкозу, это полностью изменит индустрию питания, да и много чего другого», – считает С. Пельтек.

А. Хадаев, Новосибирск. Российская газета. 5 апреля 2016. № 6940 (72).