

В.Г. Ермолинский, О.П. Ковалева

**К ВОПРОСУ ДОСТИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА,
КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Введение. Радикальное переосмысление перспективы развития отраслей глубокой химической переработки древесины формирует новый подход к будущему не только промышленности в целом, но и каждого отдельного предприятия [ТАРПИ, 1990; Джоресон, 2001]. Реконструкция действующих предприятий целлюлозно-бумажной промышленности с целью повышения эффективности производства – перманентный процесс; положительные примеры реконструкции в отрасли существуют [Бейм, Володазов, 1994; Лазебнов, Ценципер, 1998; Вестин, Ценципер, 2004; Секе-реш, Эрмелди, 2010; Мандре и др., 2010].

Селективность процесса делигнификации древесины – преимущественное растворение и удаление лигнина при максимальном сохранении углеводных компонентов – достигается при соблюдении оптимальных параметров сульфатного метода получения целлюлозы [Технология..., 2012]. К таким параметрам относятся: температура и продолжительность варки, содержание активной щелочи в варочном растворе (белом щелоке), а также условия пропитки древесной щепы. Отклонение от оптимального технологического режима процесса делигнификации неизбежно приводит к снижению выхода технической целлюлозы и увеличению содержания в ней остаточного лигнина. Остаточный лигнин удаляется при последующей кислородно-щелочной обработке и отбелке целлюлозы. Увеличение содержания остаточного лигнина в целлюлозе требует повышенного расхода отбеливающих реагентов и, соответственно, приводит к увеличению объёма токсичных сточных вод [Кряжев и др., 2000; Миловидова и др., 2019].

Мировые тенденции показывают, что сокращение поступления в окружающую среду загрязняющих веществ должно быть основано на применении наилучших доступных технологий (НДТ) [Integradet..., 2001, ИТС-1 2015]. Понятию «наилучшие доступные технологии» с точки зрения загрязнения окружающей среды отвечают те процессы, которые на данное время апробированы в мировой практике, т.е. технически достижимы и ха-

рактируются наименьшими потерями. Неудовлетворительную адаптацию технологии к условиям работы конкретного предприятия зачастую можно объяснить потерей связи науки и производства.

Увеличение мощности единичного технологического потока по производству сульфатной целлюлозы также является мировой тенденцией [Энциклопедия технологий, 2019]. Производительность варочно-промывного отдела определяет производственную мощность системы регенерации химикатов сульфат-целлюлозного завода. При увеличении объёма производства целлюлозы образуется избыточное количество отработанного варочного раствора (черного щелока), который не может быть обработан в системе регенерации существующего предприятия. По этой причине повышение мощности существующих варочных установок сверх проектной без проведения реконструкции варочно-промывных отделов, а также системы регенерации химикатов приводит к появлению избыточных сточных вод предприятия [Смирнов и др., 2006; Мандре, Аким, 2006]. Например, мероприятия по повышению производственной мощности были проведены на одном из заводов АО «Группы Илим», что привело к возникновению проблемы утилизации отработанного варочного раствора сульфатного производства [Федорова и др., 2021]. Последствия данных мероприятий можно проанализировать на основании результатов укрупненного технологического расчета по варочно-промывному отделу Усть-Илимского ЛПК после изменения условий работы варочной установки непрерывного действия.

Характеристика технологического процесса варочно-промывного отдела сульфат-целлюлозного завода после увеличения его производительности:

- порода древесины – смесь сосна/ель, лиственница;
- базисная плотность древесины сосна/ель – 360 кг/пл.м³;
- базисная плотность древесины лиственницы – 470 кг/пл. м³;
- насыпная плотность (вес) щепы – 150 кг/м³;
- коэффициент перевода плотности в насыпную плотность – 0,35–0,358 пл. м³/м³;
- объём карманов ротора дозатора щепы – 0,59 м³;
- коэффициент заполнения карманов дозатора щепы – 0,69;
- частота вращения ротора дозатора щепы – 32,6 об./мин;
- производительность варочного котла – 1400 в.с.т./сут.;
- гидромодуль загрузки – 4,1.

Содержание лигнина в небелёной целлюлозе (степень делигнификации) – 40 ед. Каппа

Фактор разбавления при промывке в котле – 0,2–0,3 м³/т

Фактор разбавления при промывке на прессах – 2,5 м³/т

По данным насыпной плотности рассчитывается базисная плотность смешанной древесины $\rho_{\text{БАЗ}}$. Насыпная плотность определяется по формуле:

$$\rho_{\text{НАС}} = \rho_{\text{БАЗ}} \times K,$$

где $K = 0,35-0,358$ пл. $\text{м}^3/\text{м}^3$.

$$\text{Если } \rho_{\text{НАС}} = 150 \text{ кг/м}^3, \text{ то } \rho_{\text{БАЗ}} = \frac{150}{0,358} = 419 \text{ кг/пл. м}^3.$$

Приведённое значение $\rho_{\text{БАЗ}}$ достигается при соотношении содержания в щепе смеси лиственницы и других хвойных пород древесины 60:40%.

$$\rho_{\text{баз}} = \frac{100}{\frac{60}{470} + \frac{100-60}{360}} = 418,8 \text{ кг/пл. м}^3.$$

Выход целлюлозы при степени делигнификации 40 ед. Каппа составляет:

- из хвойных пород древесины (без лиственницы): не менее 49%;
- из лиственницы: не менее 39%.

В таком случае выход целлюлозы составит:

- из лиственницы: $600 \times 0,39 = 234$ кг;
- из смеси сосна/ель: $400 \times 0,49 = 196$ кг.

Суммарный выход целлюлозы составит:

$$234 + 196 = 430 \text{ кг или } 43\%.$$

Результаты исследования. Варочный котёл непрерывного действия Камюр №2 был спроектирован для производства сульфатной белёной целлюлозы из хвойных пород древесины производительностью 860 тонн воздушно-сухой целлюлозы в сутки. В настоящее время производительность котла повышена до практического максимума при имеющемся ресурсе оборудования и составляет 32,6 об./мин. дозатора щепы, что соответствует выработке целлюлозы в количестве:

$$P = \frac{NV_D E_D \rho_{\text{нас}} \gamma 1,44}{0,88} = \frac{32,6 \cdot 0,59 \cdot 0,69 \cdot 150 \cdot 0,43 \cdot 1,44}{0,88} = 1400 \text{ т/сут.},$$

где $N = 32,6$ об./мин – максимальная частота вращения карманов дозатора щепы; $V_D = 0,59 \text{ м}^3$ – объём карманов дозатора щепы; $E_D = 0,69$ – степень заполнения карманов дозатора щепы; $\rho_{\text{НАС}} = 150 \text{ кг/м}^3$ – объёмная плотность (насыпной вес) щепы из смеси сосна/ель и лиственница при объёмном соотношении 40 : 60; $\gamma = 0,43$ – выход целлюлозы по варке в долях при степени делигнификации целлюлозы 40 ед. Каппа; 1,44 – коэффициент пе-

ревода кг/мин в т/сут.; 0,88 – коэффициент перевода абсолютно-сухой целлюлозы в воздушно-сухую.

Таким образом, производительность варочного котла увеличена свыше проектной на

$$\frac{1400 - 860}{860} 100 = 63\%.$$

Обычно варочные котлы конструируют так, чтобы удельная нагрузка P/S не превышала величины 30–35 т в.с.ц./м², где P – производительность котла по воздушно-сухой целлюлозе, т/сут.; S – площадь сечения нижней части котла, м². В случае проектной производительности котла Камюр №2 860 т/сут. и площади поперечного сечения 27,32 м² показатель удельной нагрузки равен: $860/27,32 = 31,5$ т/м².

В результате увеличения производительности котла до 1400 т/сут. удельная нагрузка возросла до величины $1400/27,32 = 51,24$ т/м², что привело к чрезвычайной перегрузке варочного котла.

Работа варочного котла в перегруженном режиме приводит к сокращению продолжительности варки целлюлозы, вызывает проблемы с равномерностью продвижения щепы в зонах варочного котла, снижению стабильности условий варки и эффективности промывки полученной целлюлозы, что выразилось в чрезвычайно низком факторе разбавления при промывке в котле 0,2–0,3 м³/т.

Как известно [Иванов, Никандров, 2014], продолжительность варки целлюлозы – один из основных параметров технологического режима, его величина обратно пропорциональна производительности варочного котла, от продолжительности варки также зависит степень делигнификации целлюлозы. Между тем величина этого параметра для варочных котлов Камюр не поддаётся непосредственному измерению и может быть определена только расчётным путём. Прежде всего, для расчёта времени продвижения щепы в зонах варочного котла необходимо иметь сведения о степени заполнения карманов дозатора варочной установки непрерывного действия. Опытным путём установлено, что при скорости вращения дозатора выше 14 об./мин можно пользоваться следующей формулой расчёта степени заполнения карманов дозатора щепы:

$$E_D = \begin{cases} 1,0 & \text{при } N \leq 14, \\ 1,0 - 0,01(N - 14) - 0,0004(N - 14)^2 & \text{при } N > 14,0. \end{cases}$$

При проектной производительности варочного котла 860 т в.с.ц./сут. ориентировочный выход целлюлозы, при степени делигнификации

30–32 ед. Каппа и породном соотношении смеси щепы лиственницы 30% и других пород хвойной древесины 70%, не превышал 44,5%.

Выход из древесины лиственницы: $300 \times 0,4 = 120$ кг.

Выход из древесины смеси сосна/ель $700 \times 0,46 = 322$ кг.

Общий выход: $120 + 322 = 442$ кг или 44,2 %, или 0,442 в долях.

При содержании лиственницы в щепе из смеси хвойных пород древесины 30% базисная плотность составит:

$$\rho_{\text{БАЗ}} = \frac{100}{\frac{30}{470} + \frac{100 - 30}{360}} = 387 \text{ кг/пл. м}^3.$$

По базисной плотности определяется насыпная плотность щепы:

$$\rho_{\text{нас}} = \rho_{\text{баз}} \cdot 0,35 = 387 \cdot 0,35 = 135,45 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда количество абсолютно сухой древесины, поступающей в котёл за один оборот ротора дозатора щепы при степени заполнения карманов, равной единице, должно составлять:

$$K_D = \rho_{\text{нас}} \cdot 0,46 = 135,45 \cdot 0,46 = 62,3 \text{ кг/об.},$$

где 0,46 – объём карманов дозатора щепы.

Для проектной производительности эффективная частота вращения ротора дозатора щепы со степенью заполнения карманов, равной единице, составит:

$$N = \frac{0,88 \cdot 860}{K_D \gamma \cdot 1,44} = \frac{0,88 \cdot 860}{62,3 \cdot 0,442 \cdot 1,44} = 19 \text{ об./мин.},$$

где 860 т/сут. – проектная производительность варочной установки; 0,442 – ориентировочный выход целлюлозы по варке в долях; 62,3 кг/об. – расход древесной щепы за один оборот дозатора щепы варочной установки при полном заполнении его карманов.

Однако при частоте вращения ротора дозатора щепы более 14 об./мин степень заполнения карманов снижается с 1,0 до 0,94:

$$E_D = 1,0 - 0,01(19 - 14) - 0,0004(19 - 14)^2 = 0,94.$$

По результатам оценки степени заполнения карманов ротора дозатора щепы определяется фактическая частота его вращения, которая обеспечивает проектную производительность котла до реконструкции:

$$N = \frac{0,88 \cdot 860}{K_D E_D \cdot 0,442 \cdot 1,44} = \frac{0,88 \cdot 860}{62,3 \cdot 0,94 \cdot 0,442 \cdot 1,44} = 20,3 \text{ об./мин.}$$

Зная частоту вращения роторов дозаторов щепы до реконструкции и после можно рассчитать продолжительность движения древесной щепы до варочному котлу.

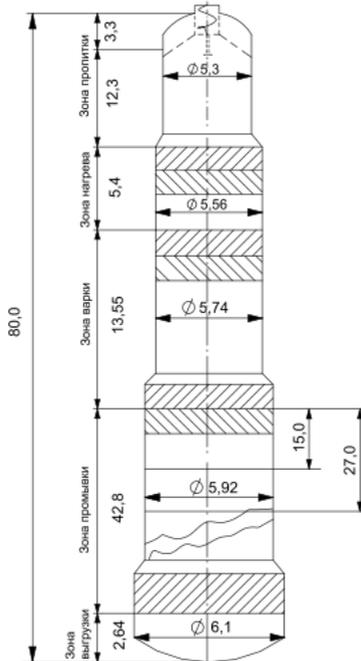
Для расчёта продолжительности пребывания древесной щепы в различных зонах котла используют следующую формулу:

$$t(x) = \frac{VK}{NV_D E_D} = \frac{A}{N_\phi},$$

где L – высота (длина) зоны котла, м; $V = SL$ – объём зоны, м³; K – коэффициент уплотнения щепы в зоне; $A = \frac{VK}{V_D}$ – относительный объём зоны, выраженный

в оборотах роторов дозаторов щепы, об.; V_D – объём карманов дозатора, м³; N_ϕ – фактическая частота вращения ротора дозатора ($N_\phi = NE_D$), об./мин.

Приведённые формулы дают возможность по геометрическим размерам зон варочного котла определить продолжительность пропитки древесной щепы варочным раствором, продолжительность нагрева, варки и промывки целлюлозы в стационарных режимах работы в зависимости от производительности. На рисунке приведены геометрические размеры варочного котла Камюр № 2 (единица измерения – метр).



Геометрические размеры варочного котла Камюр № 2

Geometric dimensions of the Kamur digester № 2

В таблице представлены значения продолжительности пребывания щепы в зонах пропитки, нагрева, варки и диффузионной промывки. Видим, что проектной производительности котла (860 т/сут.) соответствует частота вращения роторов дозаторов щепы 20 об./мин. При повышении производительности котла до практического максимума (1400 т/сут.) при частоте вращения роторов дозаторов щепы 32,6 об./мин продолжительность технологических процессов пропитки, нагрева и варки сокращается в два раза, что приводит к перегруженному технологическому режиму варочной установки.

Продолжительность движения древесной щепы по зонам варочного котла в зависимости от его производительности

The duration of the movement of wood chips in the zones of the digester, depending on its performance

Частота вращения ротора дозатора щепы, об./мин	Степень заполнения дозаторов щепы	Производительность, т в.с.ц./сут.	Время движения щепы по различным зонам варочного котла, мин			
			Зона пропитки	Зона нагрева	Зона варки	Зона диффузионной промывки
20,4	0,94	860	34,6	21,6	58,0	236,8
32,6	0,69	1400	17	10,5	28,0	115,5

При варке целлюлозы до требуемой степени делигнификации 30–32 ед. Каппа с целью увеличения продолжительности нагрева и варки с 39 мин (10 + 28) до 79,6 мин (21,6 + 58), т. е. на 40,6 мин, необходимо опустить экстракционные сита в зону промывки на расстояние

$$h = \frac{\Delta t N V_D}{SK} = \frac{40,6 \cdot 32,6 \cdot 0,59}{27,32 \cdot 1,9} = 15 \text{ м.}$$

В таком случае изменятся геометрические размеры зоны диффузионной промывки и, соответственно, продолжительность пребывания целлюлозы в зоне промывки:

- высота зоны промывки $L = 27,8 \text{ м}$ (42,8 – 15,0);
- площадь сечения котла $S = 27,32 \text{ м}^2$;
- объём зоны $V = S L = 27,32 \cdot 27,8 = 759,5 \text{ м}^3$.

$$A_{дп} = \frac{759,5 \cdot 1,9}{0,59} = 2445,8 \text{ об.}, t_{дп} = \frac{2445,8}{32,6} = 75 \text{ мин.}$$

Однако увеличение длины зоны варки на 15 м будет недостаточным при переходе на низкотемпературный режим варки с получением легкобелой целлюлозы.

Как известно, при понижении температуры (при постоянном значении H -фактора) увеличивается продолжительность варки и возникает необходимость соответствующего увеличения высоты варочной зоны в котле. Относительная константа скорости реакции делигнификации, зависящая от температуры варки, рассчитывается согласно закону Аррениуса по следующей формуле:

$$K_T = A e^{-\frac{E}{R \times (T+273)}} = e^{43,2 - \frac{16162}{T+273}},$$

где K_T – относительная константа скорости; $A = e^{43,2}$ – предэкспоненциальный множитель; $E = 32\,324$ кал/моль – энергия активации реакций делигнификации древесины при сульфатной варке; $R = 2,0$ кал/моль·°К – универсальная газовая постоянная; T – температура варки, °С; $T + 273$ – абсолютная температура, °К.

Рассчитаем, насколько необходимо увеличить продолжительность варки при производительности котла Камюр № 2, соответствующей частоте вращения ротора дозатора щепы 32,6 об./мин. Определим относительные константы скорости реакций делигнификации при температурах варки $T_1 = 170$ °С и $T_2 = 155$ °С:

$$K_{T1} = e^{43,2 - \frac{16162}{T+273}} = e^{43,2 - \frac{16162}{170+273}} = e^{6,72} = 828,8;$$

$$K_{T2} = e^{43,2 - \frac{16162}{T+273}} = e^{43,2 - \frac{16162}{155+273}} = e^{5,44} = 230,4.$$

Затем по вычисленным константам K_{T1} и K_{T2} и известной продолжительности варки $t_1 = 28$ мин при частоте вращения ротора дозатора щепы 32,6 об./мин определяем время варки t_2 при заданной температуре 155 °С, соответствующее неизменному H -фактору варки:

$$t_2 = \frac{K_{T1}}{K_{T2}} t_1 = \frac{828,8}{230,4} 28 = 101 \text{ мин.}$$

В результате при варке целлюлозы до одинаковой степени делигнификации снижение температуры варки от 170 до 155 °С потребует увеличения продолжительности пребывания древесной щепы в зоне варки котла на следующую величину:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 101 - 28 = 73 \text{ мин.}$$

Чтобы увеличить продолжительность варки на данную величину при производительности котла, соответствующей частоте ротора дозатора щепы 32,6 об./мин, необходимо опустить экстракционные сита в зону диффузионной промывки на следующее расстояние:

$$\Delta t = \Delta t = \frac{h \cdot SK}{N \cdot V_D}, \text{ тогда } h = \frac{\Delta t N V_D}{SK} = \frac{73 \cdot 32,6 \cdot 0,59}{27,32 \cdot 1,9} = 27 \text{ м.}$$

Соответственно на эту величину уменьшится высота зоны диффузионной промывки и составит: $42,8 - 27 = 15,8$ м.

Продолжительность промывки полученной целлюлозы в варочном котле также уменьшится на 73 мин: если первоначально она составляла 115,5 мин, то после опускания экстракционных сит на 27 м она будет равна: $115,5 - 73 = 42,5$ мин

Поскольку достигнутое повышение мощности до 1400 т в.с./сут. приводит к получению жесткой целлюлозы со степенью делигнификации 40 ед. Каппа; при последующей двухступенчатой кислородно-щелочной обработке степень делигнификации снижается до 18–20 ед. Каппа. В этом случае полученная целлюлоза подвергается отбелке с применением элементарного хлора, что приводит к увеличению содержания АОХ (органические галогеносодержащие вещества – adsorbable organic halogen-containing compounds) в сточных водах до 2 кг/т воздушно-сухой целлюлозы [Миловидова и др., 2019]. При этом снижение качества целлюлозы однозначно связано с ухудшением условий её промывки при низком факторе разбавления массы в варочном котле 0,2–0,5 м³/т. Кроме того, согласно природоохранным нормам прогнозируемая очистка образующихся сточных вод в количестве 0,5–2,5 м³/т экономически нецелесообразна из-за штрафных санкций вследствие увеличения содержания хлорорганических соединений в сточных водах.

Выводы. Достижение оптимального сочетания производительности производства, качества продукции и экологичности целлюлозно-бумажного предприятия является целью любой реконструкции производства и совершенствования технологии. Результаты проведенных укрупненных технологических расчётов на примере варочно-промывного отдела Усть-Илимского сульфат-целлюлозного завода показали, что для устранения негативных последствий работы варочной установки в условиях работы с превышением проектной производительности необходимо произвести радикальную реконструкцию завода с установкой пропиточной колонны для пропитки древесной щепы варочным раствором, а также увеличить

продолжительность сульфатной варки за счёт увеличения зоны варки в варочном котле непрерывного действия посредством опускания экстракционных сит в зону диффузионной промывки.

Установка дополнительной пропиточной колонны, а также увеличение продолжительности варки и промывки технической целлюлозы приведёт к снижению перегрузки котла при повышенной частоте вращения ротора дозатора древесной щепы, а также позволит вернуть фактор разбавления при промывке целлюлозы в варочном котле с $0,2-0,5 \text{ м}^3/\text{т}$ до требуемого значения – $2,0 \text{ м}^3/\text{т}$. Реконструкция сульфат-целлюлозного завода позволит значительно улучшить технико-экономические показатели производственной деятельности предприятия: получить целлюлозу с равномерной степенью провара, с повышенным выходом и хорошей белимостью и достичь требуемых показателей содержания хлороорганических соединений в сточных водах.

Библиографический список

TAPPI, 1990, №2, p.113-120 Новая концепция создания завода блененной сульфатной целлюлозы с замкнутым циклом водопотребления // Бумажная промышленность, 1991, №11. С.18.

Джоресон А. Прогноз развития технологии производства блененной целлюлозы в новом тысячелетии и задачи науки в этой области // Pulp & Paper Canada, 2001, № 12. С. 102–106.

Бейм А.М., Водолозова С.Г. Эколого-технологические аспекты модернизации целлюлозного завода в порт Меллоне // Целлюлоза, бумага, картон. 1994. № 7-8. С. 39–40.

Лазебнов П.П., Ценципер Б.М. Увеличение ресурса котлов варки сульфатной целлюлозы // Целлюлоза, бумага, картон. 1998. № 11–12. С. 39–41.

Вестин К. Опыт реконструкции варочной установки непрерывного действия с переходом на технику Lo-Solids на финском предприятии // Paperi ja Puu. 2004. № 4. Р. 218–224.

Секереш М., Эрнелди Б. Новые решения Metso для усовершенствования технологии производства сульфатной целлюлозы // 11-я Междунар. конф. PAPERFOR-2010. Актуальные проблемы и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности, Санкт-Петербург, 8–9 ноября 2010. URL: www.papfor.com

Мандре Ю.Г. и др. Резервы водосбережения при реконструкции сульфатно-целлюлозных заводов // Целлюлоза, бумага, картон. 2010. № 2. С. 42–47.

Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. III. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Ч. 3. Наилучшие доступные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности. СПб.: Политехника, 2012. 294 с.

Кряжев А.М., Шпаков Ф.В., Звездина Л.К., Зарудская О.Л., Глазунов А.И. Направления технического перевооружения производства беленой целлюлозы различного назначения // Целлюлоза, бумага, картон. 2000. № 5-6. С. 8–13.

Миловидова Л.А. и др. Промывка и отбелка целлюлозы: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2019. 192 с.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) // Reference Dokument on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December, 2001. 475 p.

ИТС-1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-1 2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. Московское Бюро НДТ, 2015. 479 с.

Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий / [гл. ред. Д.О. Скобелев]; ФГАУ НИИ «ЦЭПП. М.; СПб.: Реноме, 2019. С. 562–646.

Смирнов М.Н. Смирнов А.М., Аким Э.Л. Современная концепция водопользования на предприятиях ЦБП // Целлюлоза, бумага, картон. 2006. № 6. С. 66–74.

Мандре Ю.Г. Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция предприятий ЦБП и проблема «отравления» технологических схем // Целлюлоза, бумага, картон, 2006, №1. С. 26–33.

Федорова О.В. и др. Оценка свойств лигнина, выделенного из черного щелока производства сульфатной целлюлозы // Материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», Архангельск, 9–11 сентября 2021 г., Архангельск: САФУ, 2021. С. 211–218.

Иванов Ю.С., Никандров А.Б. Технология целлюлозы. Варочные растворы, варка и отбелка целлюлозы: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУРП, 2014. 41 с.

References

TAPPI, 1990, No. 2, p. 113–120 A new concept for the creation of a bleached sulfate pulp plant with a closed water consumption cycle. *Paper Industry*, 1991, no. 11. p. 18. (In Russ.)

Joreson A. Forecast of the development of bleached pulp production technology in the new millennium and the tasks of science in this field. *Pulp & Paper Canada*, 2001, no. 12, pp. 102–106.

Beim A.M., Vodolazova S.G. Ecological and technological aspects of modernization of the pulp mill in Port Mellon. *Cellulose, paper, cardboard*, 1994, no. 7-8, pp. 39–40. (In Russ.)

Lazebnov P.P., Tsentsiper B.M. Increasing the resource of sulfate cellulose cooking boilers. *Cellulose, paper, cardboard*, 1998, no. 11–12, pp. 39–41. (In Russ.)

Vestin K. Experience of reconstruction of a continuous cooking plant with the transition to Lo-Solids technology at a Finnish enterprise. *Paperi ja Puu*, 2004, no. 4, pp. 218–224. (In Russ.)

Sekeresh M., Ernelidi B. New Metso solutions for improving the technology of production of sulfate cellulose. *11th International Conference PAP FOR-2010*.

«Actual problems and prospects of development of the pulp and paper industry». St. Petersburg. November 8–9, 2010. URL www.papfor.com

Mandre Yu.G. et al. Reserves of water saving during the reconstruction of sulfate-cellulose plants. *Cellulose, paper, cardboard*, 2010, no. 2, pp. 42–47. (In Russ.)

Technology of pulp and paper production. In 3 v. Vol. III. Automation, standardization, economics and environmental protection in the Pulp and paper Industry. Part 3. The best available technologies in the pulp and paper industry. St. Petersburg: Polytechnic, 2012. 294 p. (In Russ.)

Kryazhev A.M., Shpakov F.V., Zvezdina L.K., Zarudskaya O.L., Glazunov A.I. Directions of technical re-equipment of bleached pulp production for various purposes. *Cellulose, paper, cardboard*, 2000, no.5-6. pp. 8–13. (In Russ.)

Milovidova L.A. et al. Washing and bleaching of cellulose. Arkhangelsk: SAFU, 2019. 192 p. (In Russ.)

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Dokument on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December, 2001. 475 p. (In Russ.)

Information and Technical handbook on the best available technologies ITS-1 2015. Production of pulp, wood pulp, paper, cardboard. Mo. Bureau NDT, 2015. 479 p. (In Russ.)

Encyclopedia of Technologies. Evolution and comparative analysis of resource efficiency of industrial technologies[Editor-in-chief D.O. Skobelev]; FSAU «Research Institute «CEPP». M.; St. Petersburg: Renome, 2019, pp. 562–646. (In Russ.)

Smirnov M.N. Smirnov A.M. Akim E.L. Modern concept of water use at Pulp and Paper enterprises. *Cellulose, paper, cardboard*, 2006, no. 6, pp. 66–74. (In Russ.)

Mandre Yu.G. Akim E.L. Step-by-step ecological and technological reconstruction of Pulp and Paper enterprises and the problem of «poisoning» of technological schemes. *Cellulose, paper, cardboard*, 2006, no. 1, pp. 26–33. (In Russ.)

Fedorova O.V. et al. Evaluation of the properties of lignin isolated from black liquor produced by sulfate cellulose. *Materials of the VI International Scientific and Technical Conf., «Problems of mechanics of pulp and paper materials»*: Arkhangelsk, September 9–11, 2021). Arkhangelsk: SAFU, 2021, pp. 213–218. (In Russ.)

Ivanov Yu.S., Nikandrov A.B. Cellulose technology. Cooking solutions, cooking and bleaching of cellulose. St. Petersburg: SPbGTURP, 2014. 41 p. (In Russ.)

Ермолинский В.Г., Ковалева О.П. К вопросу достижения оптимального сочетания производительности производства, качества продукции и экологичности целлюлозно-бумажных предприятий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 240. С. 250–263. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.250-263

Рассмотрены практические аспекты изменения технологических параметров варки сульфатной хвойной небеленой целлюлозы применительно к условиям АО «Группа «Илим», филиал в г. Усть-Илимск, в условиях работы варочной установки непрерывного действия с превышением проектной производительности.

Произведённые укрупненные технологические расчеты показали необходимость реконструкции варочно-промывного участка с целью устранения негативных последствий, к которым привело увеличение производительности установленного ранее технологического агрегата при попытке соблюдения приемлемых экологических показателей деятельности предприятия. Достижение оптимального сочетания производительности производства, качества продукции и экологичности целлюлозно-бумажного предприятия является целью любой реконструкции производства и совершенствования технологии. Работа варочной установки непрерывного действия в перегруженном режиме приводит к сокращению продолжительности технологических процессов пропитки древесной щепы и последующей сульфатной варки, вызывает проблемы с равномерностью продвижения древесной щепы в зонах варочного котла и приводит к снижению эффективности промывки полученной целлюлозы. Поскольку повышение мощности варочной установки приводит к получению жесткой целлюлозы, из которой остаточный лигнин может быть удален только при включении в технологическую схему отбелики дополнительной стадии отбелики с применением хлора, то содержание хлорорганических соединений в сточных водах варочно-промывного отдела предприятия превышает допустимые экологические нормы. Предложен вариант реконструкции варочной установки непрерывного действия, позволяющий повысить эффективность производства сульфатной целлюлозы с достижением требуемых показателей сброса загрязняющих веществ в окружающую среду. Для устранения негативных последствий работы варочной установки в условиях значительного превышения её проектной производительности необходимо дополнительно установить пропиточную колонну и увеличить зону варки за счёт опускания экстракционных сит в зону диффузионной промывки варочного котла.

Ключевые слова: сульфатная варка, производительность варочной установки, целлюлоза, сброс загрязняющих веществ.

Ermolinsky V.G., Kovaleva O.P. On the issue of achieving an optimal combination of production capacity, product quality and ecological safety of pulp and paper enterprises. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehneskoj Akademii*, 2022, iss. 240, pp. 250–263 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.250-263

The article discusses the practical aspects of changing the technological parameters of cooking sulfate coniferous unbleached cellulose in relation to the conditions of «Group «Ilim», a branch in Ust-Ilimsk, in the conditions of operation of a continuous cooking plant with exceeding the design capacity. The enlarged technological calculations have shown the need for reconstruction of the cooking and washing area in order to eliminate the negative consequences, which resulted in an increase in the productivity of the previously installed technological unit while trying to comply with acceptable environmental performance indicators of the enterprise. Achieving an optimal

combination of production productivity, product quality and environmental friendliness of a pulp and paper enterprise is the goal of any production reconstruction and technology improvement. The operation of the continuous cooking unit in an overloaded mode leads to a reduction in the duration of the technological processes of impregnation of wood chips and subsequent sulfate cooking, causes problems with uniformity of movement of the wood chips in the zones of the digester and leads to a decrease in the efficiency of washing the resulting pulp. Since an increase in the capacity of the cooking unit leads to the production of rigid cellulose, from which residual lignin can be removed only when an additional bleaching stage using chlorine is included in the bleaching technological scheme, the content of organochlorine compounds in the wastewater of the cooking and washing department of the enterprise exceeds permissible environmental standards. The article proposes a variant of the reconstruction of a continuous cooking plant, which allows to increase the efficiency of the production of sulfate cellulose with the achievement of the required indicators of the discharge of pollutants into the environment. To eliminate the negative consequences of the operation of the cooking unit in conditions of a significant excess of its design the capacity, it is necessary to additionally install an impregnation column and increase the cooking zone by lowering extraction sieves into the zone of diffusion washing of the digester.

Key words: kraft cooking, the capacity of cooking plants, the cellulose, the discharge of pollutants.

ЕРМОЛИНСКИЙ Виктор Григорьевич – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат химических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

ERMOLINSKY Viktor G. – PhD (Chemistry). Associate Professor of the Forest University named after S.M. Kirov,

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru

КОВАЛЕВА Ольга Петровна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

KOVALEVA Olga P. – PhD (Technical) Associate Professor of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru