

А.В. Епифанов, М.А. Епифанова, О.В. Рыбников, Э.Л. Аким

**БАЛАНСОВАЯ СХЕМА
РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СБРОСА
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫМ ЦБК БУМАГИ,
КАРТОНА И ХТММ**

Введение. Расчет технологических нормативов сбросов включает определение объектов технологического нормирования. Объекты технологического нормирования являются частью объекта негативного воздействия и, как правило, включают производственные цепочки изготовления товарной продукции. К основной продукции могут относиться следующие производства: небеленой и беленой целлюлозы, бумаги, картона, беленой и небеленой химико-термомеханической массы. При расчете технологических нормативов сбросов на интегрированных ЦБК могут быть выделены производства, нормируемые по производству беленой целлюлозы, небеленой целлюлозы и древесной массы. Исторически сточные воды ЦБК с разных стадий технологических процессов, локальных очистных сооружений, систем водооборота, поступают в производственную канализацию и очищаются на общезаводских очистных сооружениях. Очищенные сточные воды сбрасываются через выпуск сточных вод в водный объект.

Одним из этапов расчета технологических нормативов сбросов интегрированных ЦБК является определение фактических масс сбросов загрязняющих веществ от объектов технологического нормирования с учетом очистки сточных вод на локальных и общезаводских очистных сооружениях. Многие интегрированные ЦБК принимают сточные воды абонентов, не связанных с выпуском основной продукции ЦБК. В этом случае массы сбросов загрязняющих веществ абонентов должны быть исключены из технологических нормативов сбросов. Данные расчеты могут быть выполнены на основе балансовых моделей масс загрязняющих веществ.

Актуальность. Разработка алгоритмов расчета фактических масс сбросов маркерных загрязняющих веществ и технологических показателей сбросов интегрированных ЦБК от отдельных объектов технологического нормирования с учетом очистки сточных вод на локальных и общезаводских очистных сооружениях позволит установить технологически обоснованные значения технологических нормативов сбросов.

Состояние вопроса. В российской и зарубежной литературе отсутствуют алгоритмы расчета технологических показателей сбросов загрязняющих веществ при производстве бумаги, картона и древесной массы. В европейских странах отражены только общие подходы [Suhr, 2015; Mavrotas, 2007]. Проблемы оценки массы сброса загрязняющих веществ отдельно для каждого производства рассматривались в различных научных статьях [Боголицын, 2005; Боголицын, 2021; Гермер, 2008; Шишкин, 2006; Жильникова, 2017].

Научная новизна. Разработан алгоритм расчета технологических показателей сбросов для интегрированного ЦБК, выпускающего бумагу, картон и древесную массу.

Цель исследования. Разработка и расчет технологических нормативов сбросов для интегрированных ЦБК, выпускающих бумагу, картон и древесную массу.

Материалы и методики исследования. Применен балансовый метод для разработки балансовых схем расчета технологических показателей и технологических нормативов для ЦБК.

Большинство предприятий ЦБП принимают на очистку городские сточные воды, а также сточные воды абонентов, не связанных с производством продукции комбинатом. Эти массы сбросов не должны учитываться в технологических показателях и технологических нормативах комбината [Гермер, 2008; Гревцов, 2022]. Как правило сточные воды абонентов проходят очистку на очистных сооружениях комбината и затем сбрасываются общим потоком через водовыпуск в водный объект. Таким образом, необходимо для каждого абонента определить массу образовавшихся от него загрязняющих веществ с учетом очистки на очистных сооружениях [Боголицын, 2021; Шишкин, 2006]. Наиболее очевидным представляется расчет массы как произведения расхода сточных вод абонента на концентрации загрязняющих веществ после очистных сооружений комбината.

Однако если концентрации маркерных веществ в сточных водах абонента значительно выше концентраций в сточных водах комбината, то использование данного подхода приведет к завышению эффективности очистки сточных вод абонента, и соответственно часть загрязняющих веществ абонента будет отнесена к сбросу комбината.

Наиболее простым вариантом расчета технологических нормативов сбросов является их расчет по одному объекту технологического нормирования на основе суммарного производства продукции. Этот подход оправдан, если полученные значения фактических технологических показателей сбросов (ТП) не превышают наиболее жестких технологических показате-

лей сбросов, отвечающих применению наилучших доступных технологий (ТПндт) [Мочалова, 2017].

Если ТП превышает наименьшее из значений ТПндт (небеленая целлюлоза, беленая целлюлоза, древесная масса), то интегрированному ЦБК придется разрабатывать программу повышения экологической эффективности по снижению сбросов маркерных загрязняющих веществ или рассчитывать ТП отдельно по объектам технологического нормирования.

Опыт внедрения современных технологий на ЦБК показывает, что можно достигнуть значительного снижения нагрузки на водные ресурсы даже при расширении выпуска продукции. Положительным примером служит НПАО «Светогорский ЦБК», которому удалось после запуска производства БХТММ за счет внедрения уникальной локальной системы очистки стоков БХТММ и реализации комплекса технологических водоохраных мероприятий при варке, промывке и отбелке целлюлозы в разы снизить удельные показатели сброса загрязняющих веществ на единицу выпускаемой продукции и существенно сократить водный след комбината [Смирнов, 2006; Рыбников, 2013; ISO 14046:2014, 2014; Directive 2010/75/EU, 2010; ИТС 22.1-2016, 2016]. Включение в ассортимент более экологичной продукции – бумаги Эко – в 2022 г., базирующееся на выполненных ранее исследованиях [Рыбников, 2013], позволило добиться снижения воздействия на окружающую среду, включая сокращение углеродного следа и выбросов в атмосферу, и снизить расход древесины на получение волокнистых полуфабрикатов с 4,2 м³ /тонну для лиственной целлюлозы до 2,7 м³ /тонну для осиновой беленой ХТММ. Кроме этого, сократился расход реагентов и энергии, в частности благодаря отказу от использования ступеней отбелки диоксидом хлора.

Рассмотрим балансовую модель сброса загрязняющих веществ после общезаводских очистных сооружений при производстве интегрированным ЦБК бумаги, картона и ХТММ.

Первый объект технологического нормирования (ОТН) (производство бумаги) будем нормировать по беленой целлюлозе, второй ОТН (производство картона) будем нормировать по небеленой целлюлозе, третий ОТН (производство ХТММ) будем нормировать по производству древесной массы. Данный расчет можно выполнить путем разработки балансовой модели. Основы разработки балансовых методов изложены в [Приказ Мин-Природы № 579, 2019; Щелчков, 2019]. Метод материального баланса используется для оценки эмиссий в окружающую среду от технологического процесса или единицы технологического оборудования и учитывает коли-

чества вещества на входе в процесс и выходе из процесса, а также его разложение в технологическом процессе. Балансовый метод наиболее эффективен, если значение фактического технологического показателя попало в диапазон между $ТП_{ндт\ н/б}$ и $ТП_{ндт\ б/ц}$. Определить оптимальные значения технологических показателей можно по предложенным формулам.

Вначале рассчитываем фактический технологический показатель по всей продукции.

$$ТП = \frac{M_{факт}}{T_{прод}}, \quad (1)$$

где $ТП$ – фактический технологический показатель по всей продукции, кг/т; $M_{факт}$ – суммарная масса сброса загрязняющих веществ, кг;

$$T_{прод} = T_1 + T_2 + T_3; \quad (2)$$

T_1 – годовой выпуск воздушно-сухой продукции, нормируемой по беленой целлюлозе, т; T_2 – годовой выпуск воздушно-сухой продукции, нормируемой по небеленой целлюлозе, т; T_3 – годовой выпуск воздушно-сухой продукции, нормируемой по древесной массе, т.

Очевидно, что фактическая масса сброса загрязняющих веществ от каждого вида продукции может быть рассчитана как произведение массы произведенной продукции на удельную норму образования загрязняющих веществ с учетом их очистки на очистных сооружениях. Тогда получим:

$$M_{факт} = T_1 \cdot y_1 + T_2 \cdot y_2 + T_3 \cdot y_3, \quad (3)$$

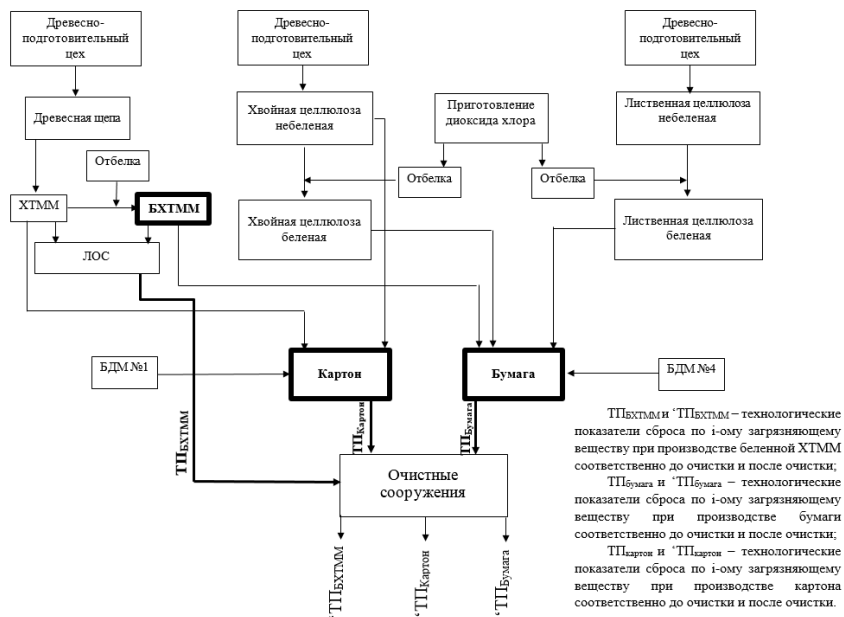
где y_1 – удельная норма образования загрязняющих веществ на выпуск 1 тонны продукции T_1 , кг/т; y_2 – удельная норма образования загрязняющих веществ на выпуск 1 тонны продукции T_2 , кг/т; y_3 – удельная норма образования загрязняющих веществ на выпуск 1 тонны продукции T_3 , кг/т.

$$ТП_{факт} = \frac{T_1 \cdot y_1 + T_2 \cdot y_2 + T_3 \cdot y_3}{T_1 + T_2 + T_3}. \quad (4)$$

Результаты исследования. На условном интегрированном ЦБК выделяем 3 объекта технологического нормирования:

1. ОТН-1 (Бумага беленая);
2. ОТН-2 (Картон и бумага ЭКО);
3. ОТН-3 (Беленая химико-термомеханическая масса (БХТММ)).

На основе технологических регламентов составляем балансовую модель вклада отдельных производственных процессов в значения технологических показателей готовой продукции (рис. 1) [Епифанова, 2021].



*Рис. 1. Балансовая модель вклада отдельных производственных процессов
в значения технологических показателей сброса готовой продукции
для интегрированного ЦБК*

Fig.1. Balance model of the contribution of individual production processes to the values of technological indicators of the discharge of finished products for integrated pulp and paper production

На Светогорском ЦБК выделены следующие основные производства:

1. Производство хвойной небелёной целлюлозы;
2. Производство хвойной беленой целлюлозы;
3. Производство лиственной беленой целлюлозы;
4. Производство бумаги;
5. Производство картона;
6. Производство ХТММ.

Загрязняющие вещества при производстве хвойной небеленой целлюлозы образуются в следующих технологических процессах: станция нейтрализации, выпарка, ДПЦ, кислотный и щелочной потоки, МТК, СРК, обезвоживание сырья, промывка, варка и каустизация.

Загрязняющие вещества при производстве хвойной беленой целлюлозы, помимо процессов, перечисленных для хвойной небелёной целлюлозы, образуются при производстве диоксида хлора, отбеленных потоков целлюлозы.

Загрязняющие вещества при производстве лиственной целлюлозы образуются на станции нейтрализации и каустизации. Кроме этого, загрязняющие вещества образуются в технологических процессах, общих для лиственной и хвойной целлюлозы; к ним относятся: варка, выпарка, производство хлора, ДПЦ, МТК и СРК, обезвоженное сырье.

Загрязняющие вещества при производстве картона и бумаги определяются только сбросом загрязняющих веществ от БДМ.

Загрязняющие вещества при производстве бумаги на БДМ определяются сбросами цеха осаждения карбоната кальция и самой БДМ.

Производство ХТММ является практически изолированным технологическим процессом. Загрязняющие вещества после локальных очистных сооружений сбрасываются в систему крафт аэрации.

Расчет технологических показателей сброса для первичных волокнистых небеленых полуфабрикатов (ПВПФн/б) и первичных волокнистых беленых полуфабрикатов (ПВПФб).

$$ТП^i_x = \frac{\sum_{j=1}^J N^j_i}{M_x}, \quad (5)$$

где $ТП^i_x$ – технологический показатель образования i -го загрязняющего вещества при производстве продукции X , кг/т; N^j_i – масса поступления в сточные воды i -го загрязняющего вещества при выполнении технологической операции j , кг; J – количество технологических операций для производства продукции x ; M_x – масса произведенной продукции X , т.

Расчет технологических показателей сброса для продукции полного цикла.

$$N_{бумага} = N_{БХЦ} \cdot y^Б_{БХЦ} + N_{БЛЦ} \cdot y^Б_{БЛЦ} + N_{ДМ} \cdot y^Б_{ДМ} + N_{БДМ}, \quad (6)$$

$$ТП_{бумага} = \frac{N_{бумага}}{M_{бумага}}, \quad (7)$$

$N_{бумага}$ – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе производства бумаги, кг; $N_{БДМ}$ – количество загрязняющих веществ, образовавшихся от работы бумагоделательной машины при производстве бумаги, кг; $y^Б_{БХЦ}$, $y^Б_{БЛЦ}$, $y^Б_{ДМ}$ – доли беленой лиственной целлюлозы, беленой хвойной целлюлозы, небеленой хвойной целлюлозы, древесной массы, которые пошли на производство бумаги.

Для расчета технологических показателей по конечной продукции необходимо знать процентное соотношение сырья данная информация представлена в табл. 1:

Таблица 1

**Композиция волокнистых полуфабрикатов
для производства бумаги и картона**

**Composition of fibrous semi-finished products
for the production of paper and cardboard**

Волокнистый полуфабрикат	Процент сырья от общего производства, %
Композиция бумаги	
БХТММ	20
Лиственная беленая целлюлоза	48
Хвойная беленая целлюлоза	32
Композиция картона	
БХТММ	11
Лиственная беленая целлюлоза	19
Хвойная беленая целлюлоза	10
Хвойная небеленая целлюлоза	60

Производство БХТММ осуществляется на отдельной линии, где есть собственные очистные сооружения, следовательно, для расчета ТП достаточно знать концентрацию маркерных загрязняющих веществ после локальных очистных сооружений.

На рис. 2 представлен накопительный график вкладов технологических процессов в технологические показатели по ХПК.

По оси х от древесно-подготовительного цеха до каустизации приведены процессы, в которых образуются загрязненные сточные воды при производстве хвойной и лиственной небеленой целлюлозы. При производстве беленой целлюлозы к загрязняющим веществам, образовавшимся при производстве небеленой целлюлозы, добавляются загрязняющие вещества от производства диоксида хлора и процесса отбелики целлюлозы. Как было указано ранее, производство ХТММ является отдельным технологическим процессом, который выделен в отдельное производство. Количество загрязняющих веществ на тонну БХТММ приведено на графике отдельной точкой. Далее на графике приведено количество загрязняющих веществ, попадающих в сточные воды при производстве продукции на БДМ 1 и БДМ 4. Количество загрязняющих веществ, поступающих при производстве тонны бумаги, и картона, рассчитано с учетом композиции бумаги и картона (см. табл. 1). На завершающем этапе количество образующихся загрязняющих веществ на тонну продукции пересчитано с учетом их очистки на общезаводских очистных сооружениях.

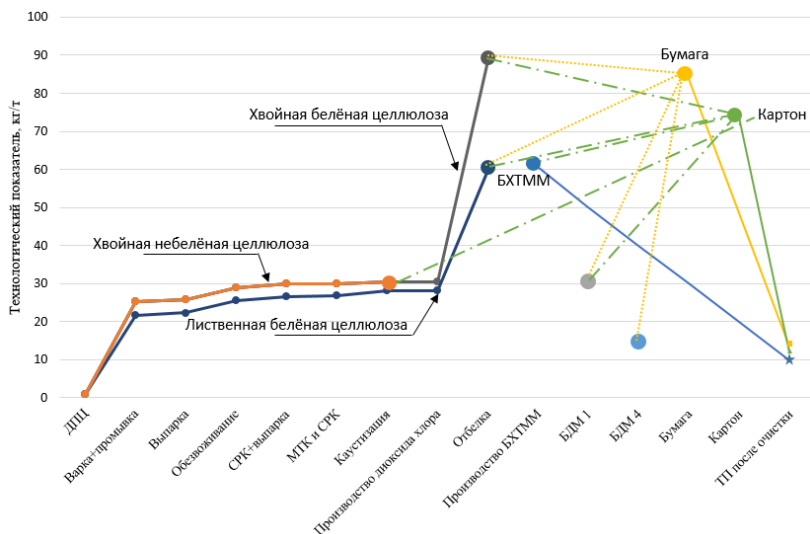


Рис. 2. Накопительный график вклада технологических процессов в технологический показатель сброса ХПК производства бумаги и картона

Fig. 2. Cumulative schedule of the contribution of technological processes to the technological indicator of the discharge of COD of paper and cardboard production

Картон и бумага представляют собой композицию волокнистых полуфабрикатов, следовательно, необходимо рассчитать для начала технологические показатели сброса для производства хвойной небелёной целлюлозы, хвойной белёной целлюлозы, лиственной белёной целлюлозы и, в соответствии с композицией, рассчитать технологические показатели и, в соответствии с эффективностью работы очистных сооружений, получить финальные значения технологических показателей.

При производстве хвойной белёной целлюлозы максимальные значения технологических показателей при варке и при отбелке, остальные процессы в сумме дают не более 10% финального значения технологического показателя по хвойной белёной целлюлозе. Такой же график у лиственной белёной целлюлозы образует меньший технологический показатель.

Технологический показатель для бумаги, композиция которой состоит из хвойной белёной целлюлозы, лиственной белёной целлюлозы и БХТММ, также должен включать загрязнения, образовавшиеся на бумагоделательной машине. Технологический показатель для бумаги рассчитывается: до очистных сооружений и после – до очистных сооружений он составил 28 кг/т, после 0,5 кг/т.

Аналогично рассчитаны технологические показатели сброса по БПК_п и взвешенным веществам (рис. 3–4).

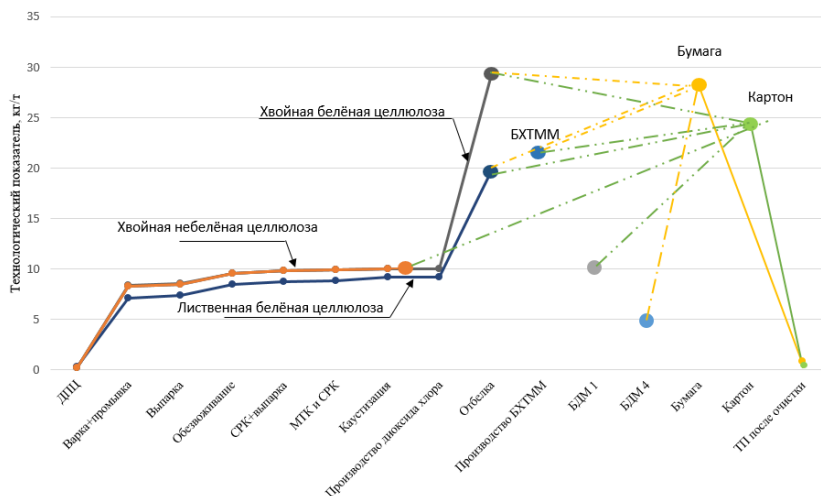


Рис. 3. Накопительный график вклада технологических процессов в технологический показатель сброса БПК_п производства бумаги и картона
 Fig. 3. Cumulative schedule of the contribution of technological processes to the technological indicator of Bod discharge of paper and cardboard production

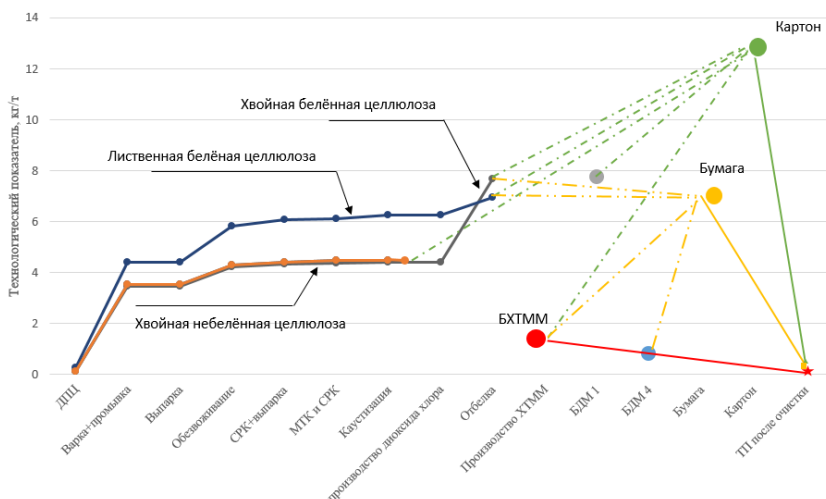


Рис. 4. Накопительный график вклада технологических процессов в технологический показатель сброса взвешенных веществ производства бумаги и картона
 Fig. 4. Cumulative schedule of the contribution of technological processes to the technological indicator of the discharge of suspended substances of paper and cardboard production

Результаты расчетов технологических показателей для бумаги, картона и ХТММ по БПК_п, ХПК и взвешенным веществам приведены в табл. 2. Для производства БХТММ расчеты технологических показателей сбросов проведены с учетом очистки сточных вод на локальных и общезаводских очистных сооружениях.

Таблица 2

**Технологические показатели маркерных веществ
для производства бумаги, картона и БХТММ**

**Technological indicators of marker substances for paper production,
the production of cardboard and BCTMP**

Показатель	Бумага		Картон		БХТММ	
	ТП _{факт} , кг/т	ТП _{ндт} по бе- леной целлю- лозе кг/т	ТП _{факт} , кг/т	ТП _{ндт} по не- беленой цел- люлозе кг/т	ТП _{факт} , кг/т	ТП _{ндт} по бе- леной целлю- лозе кг/т
ХПК	12,94	≤30	11,60	≤12	9,73	≤40
БПК	0,51	≤1,2	0,24	≤0,7	0,12	≤6
Взвешенные вещества	0,35	≤1,9	0,43	≤1,2	0,1	≤2

Выводы. Разработан алгоритм расчета фактических масс сбросов маркерных загрязняющих веществ и технологических показателей сбросов интегрированных ЦБК, выпускающих бумагу, картон и древесную массу, от отдельных объектов технологического нормирования с учетом очистки сточных вод на локальных и общезаводских очистных сооружениях.

Предложенный алгоритм базируется на балансовом методе расчета масс загрязняющих веществ для объектов технологического нормирования по отдельным стадиям технологического процесса. Алгоритм апробирован на примере целлюлозно-бумажного комбината, выпускающего бумагу, картон и ХТММ.

По результатам проведенных расчетов по всем загрязняющим веществам для всех объектов технологического нормирования фактические технологические показатели образования загрязняющих веществ на единицу выпускаемой продукции меньше значений технологических показателей НДТ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Костогоров Н.М., Шульгина Е.В., Иванченко Н.Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроиз-

водственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 343–352. URL: <http://journal.asu.ru/cw/article/view/7871>.

Боголицын К.Г., Соболева Т.В., Гусакова М. А., Почтовалова А.С., Личуткина Т.Ф. Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП.// Екатеринбург. 2010. 168 с.

Гермер Э.И. Современная концепция экологического нормирования технологических процессов ЦБП и возможные пути ее реализации в России. О проекте новой системы экологического нормирования – предпосылки его появления и концептуальные решения; проблемы, оставшиеся за рамками проекта // ИВУЗ. Лесной журнал. 2008. № 2. С. 108–117.

Гревцов О.В. Технологическое нормирование сбросов промышленных сточных вод на основе наилучших доступных технологий // Инновации. Наука. Обращение. 2022. № 50. С. 1933–1939.

Епифанов А.В., Епифанова М.А. Алгоритм управления водоохранной деятельностью АО «Сегежский ЦБК» на основе математического моделирования // Вопросы радиоэлектроники. 2019. № 1(7). С. 106–109.

Епифанова М.А., Епифанов А.В., Аким Э.Л. Алгоритм расчета технологических показателей для нескольких объектов технологического нормирования // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 237. С. 258–271

Жильникова Н.А., Шишкин А.И., Епифанов А.В., Епифанова М.А. Алгоритм управления перераспределением техногенной нагрузки для территориальных природно-технических комплексов на основе геоинформационных систем // Информационно-управляющие системы. 2017. № 1 (86). С. 93–101

ИТС 1-2022 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям целлюлозно-бумажное производство Москва: Бюро НДТ, 2022. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1858&etkstructure_id=1872 (Дата обращения: 20.04.2023)

ИТС 22.1-2016 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологическое обеспечение. 2016 (утв. Приказом Росстандарта от 4.03.2016 №1571). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143295> (дата обращения: 01.04.2023).

Мочалова Л.А. Технологическое нормирование на основе наилучших доступных технологий // Экономические, экологические и социальные проблемы горной промышленности Урала: Сборник научных статей. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. 2017. С. 147–153.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 579 от 27.08.2019 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды “Технологические показатели наилучших доступных технологий

производства целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона”». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_333931/ (дата обращения: 11.06.2023).

Рыбников О.В., Бондаренко Н.П., Мандре Ю.Г, Аким Э.Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного целлюлозно-бумажного комбината ЗАО ИР («ОАО Светогорск») // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. № 5. С. 62–68.

Смирнов М.Н., Локишин Ю.Х., Смирнов А.М., Аким Э.Л. Современная концепция водопользования на предприятиях ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. №6. с. 66-74.

Щелчков К.А. Основные аспекты применения информационно-технических справочников по НДТ // Экология производства. 2019. № 5. С. 20–26.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24.11.2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0075> (дата обращения: 11.04.2023).

ISO 14046:2014 «Environmental management – Water footprint –Principles, requirements and guidelines». URL: <https://www.iso.org/standard/43263.html> (дата обращения 20.05.2023).

Mavrotas G., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y., Lalas D., Hontou V., Gakis N. An integrated approach for the selection of Best Available Techniques (BAT) for the industries in the greater Athens area using multi-objective combinatorial optimization // Energy Economics. 2007. Vol. 29, iss. 4. P. 953–973. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.002>

Suhr M., Klein G., Kourti I., Rodrigo Gonzalo M., Giner Santonja G., Serge Roudier, Delgado Sancho L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) // Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2015. P. 906. URL: <https://doi.org/10.2791/370629>

References

Bogolitsyn K.G., Moskalyuk E.A., Kostogorov N.M., Shulgina E.V., Ivanchenko N.L. Application of integral indicators of wastewater quality for intraindustrial environmental-analytical control of cellulose production. *Chemistry of plant raw materials*, 2021, no. 2, pp. 343–352. (In Russ.)

Bogolitsyn K.G., Soboleva T.V., Gusakova M.A., Pochtovalova A.S., Lichutina T.F. Scientific foundations of environmental-analytical control of industrial wastewater from pulp and paper industry. Yekaterinburg, 2010. 168 p. (In Russ.)

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24.11.2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0075> (accessed April 11m 2023). (In Russ.)

Epifanov A.V., Epifanova M.A. Algorithm for managing the water conservation activities of Segezha Pulp and Paper Mill JSC based on mathematical modeling. *Questions of radio electronics*, 2019, no. 1(7), pp. 106–109. (In Russ.)

Epifanova M.A., Epifanov A.V., Akim E.L. Algorithm for calculating technological indicators for several objects of technological standardization. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 258–271. (In Russ.)

Germer E.I. Modern concept of environmental regulation of technological processes of pulp and paper industry and possible ways of its implementation in Russia. About the project of a new system of environmental regulation – the prerequisites for its appearance and conceptual solutions; problems remaining outside the scope of the project. *IVUZ. Forest magazine*, 2008, no. 2, pp. 108–117. (In Russ.)

Grevtsov O.V. Technological regulation of industrial wastewater discharges based on the best available technologies. *Innovations. The science. Education*, 2022, no. 50, pp. 1933–1939. (In Russ.)

ISO 14046:2014 «Environmental management – Water footprint –Principles, requirements and guidelines». URL: <https://www.iso.org/standard/43263.html> (accessed May 20, 2023).

ITS 1-2022 Information and technical reference book on the best available technologies for pulp and paper production M.: NDT Bureau, 2022. URL: https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=1858&etkstructure_id=1872 (accessed April 20, 2023).

ITS 22.1-2016 Information and technical reference book on the best available technologies. General principles of industrial environmental control and its metrological support. 2016 (approved by Order of Rosstandart dated March 4, 2016 No. 1571). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143295> (accessed January 04, 2023). (In Russ.)

Mavrotas G., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y., Lalas D., Hontou V., Gakis N. An integrated approach for the selection of Best Available Techniques (BAT) for the industries in the greater Athens area using multi-objective combinatorial optimization. *Energy Economics*, 2007, vol. 29, iss. 4, pp. 953–973. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.002>. (In Russ.)

Mochalova L.A. Technological standardization based on the best available technologies. *Economic, environmental and social problems of the mining industry of the Urals*: collection of scientific articles. Ekaterinburg: Ural State Mining University. 2017, pp. 147–153. (In Russ.)

Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 579 dated August 27, 2019 «On approval of the regulatory document in the field of environmental protection “Technological indicators of the best available technologies for the production of cellulose, wood pulp, paper, cardboard”». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_333931/ (accessed November 06, 2023).

Rybnikov O.V., Bondarenko N.P., Mandre Yu.G., Akim E.L. Stage-by-stage environmental and technological reconstruction of the integrated pulp and paper mill of CJSC IP («JSC Svetogorsk»). *Pulp. Paper. Cardboard*, 2013, no. 5, pp. 62–68. (In Russ.)

Shchelchkov K.A. Main aspects of the application of information and technical reference books on BAT. *Ecology of production*, 2019, no. 5, pp. 20–26. (In Russ.)

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

Suhr M., Klein G., Kourti I., Rodrigo Gonzalo M., Giner Santonja G., Serge Roudier, Delgado Sancho L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). *Luxembourg: Publications Office of the European Union*, 2015, p. 906. URL: <https://doi.org/10.2791/370629>

Zhilnikova N.A., Shishkin A.I., Epifanov A.V., Epifanova M.A. Algorithm for managing the redistribution of technogenic load for territorial natural-technical complexes based on geographic information systems. *Information and management systems*. 2017, no. 1 (86), pp. 93–101. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.11.2023

Епифанова М.А., Епифанов А.В., Рыбников О.В., Аким Э.Л. Балансовая схема расчета технологических показателей сброса при производстве интегрированным ЦБК бумаги, картона и ХТММ // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 335–351. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.335-351

Расчет технологических нормативов сбросов включает определение объектов технологического нормирования. Объекты технологического нормирования являются частью объекта негативного воздействия и, как правило, включают производственные цепочки изготовления товарной продукции. К основной продукции могут относиться производства: небеленой и беленой целлюлозы, бумаги, картона, беленой и небеленой химико-термомеханической массы. Одним из этапов расчета технологических нормативов сбросов интегрированных ЦБК является определение фактических масс сбросов загрязняющих веществ от объектов технологического нормирования с учетом очистки сточных вод на локальных и общезаводских очистных сооружениях. В работе рассмотрена балансовая модель сброса загрязняющих веществ после общезаводских очистных сооружений при производстве интегрированным ЦБК бумаги, картона и ХТММ. Первый объект технологического нормирования (ОТН) (производство бумаги) будет нормироваться по беленой целлюлозе, второй ОТН (производство картона) будет нормироваться по небеленой целлюлозе, третий ОТН (производство ХТММ) будет нормироваться по производству древесной массы. Данный расчет можно выполнить путем разработки балансовой модели. Метод материального баланса используется для

оценки эмиссий в окружающую среду от технологического процесса или единицы технологического оборудования и учитывает количества вещества на входе в процесс и выходе из процесса, а также его разложение в технологическом процессе. Определить оптимальные значения технологических показателей можно по предложенным в статье формулам. Картон и бумага представляют собой композицию волокнистых полуфабрикатов, следовательно, необходимо для начала рассчитать технологические показатели сброса для производства хвойной небелёной целлюлозы, хвойной беленой целлюлозы, лиственной беленой целлюлозы и в соответствии с композицией рассчитать технологические показатели, и в соответствии с эффективностью работы очистных сооружений получить финальные значения технологических показателей. По результатам расчета построены графики, показывающие вклад каждого производственного процесса в технологический норматив сброса.

Ключевые слова: технологическое нормирование, целлюлозно-бумажное производство, нормативы допустимых сбросов, балансовый метод, объекты технологического нормирования.

Epifanova M.A., Epifanov A.V., Rybnikov O.V., Akim E.L. Balance scheme for calculating technological discharge indicators during the production of paper, cardboard and CTMM by an integrated pulp and paper mill. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 335–351 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.335-351

The calculation of technological standards for discharges includes the identification of objects of technological regulation. Objects of technological regulation are part of the object of negative impact and, as a rule, include production chains for the production of commercial products. The main products may include the production of: unbleached and bleached cellulose, paper, cardboard, bleached and unbleached chemical-thermo-mechanical pulp. One of the stages in calculating technological discharge standards integrated by the pulp and paper mill is the determination of the actual masses of pollutant discharges from technological standardization facilities, taking into account wastewater treatment at local and on-site treatment facilities. The paper examines a balance model for the discharge of pollutants after general plant treatment facilities during the production of paper, cardboard and CTMM by an integrated pulp and paper mill. The first object of technological standardization (OTN) (paper production) will be standardized on bleached cellulose, the second OTN (cardboard production) will be standardized on unbleached cellulose, the third OTN (production of CTMM) will be standardized on the production of wood pulp. This calculation can be performed by developing a balance sheet model. The material balance method is used to estimate emissions into the environment from a technological process or a piece of technological equipment and takes into account the quantities of a substance entering and leaving the process, as well as its decomposition in the technological process. The optimal values of

technological indicators can be determined using the formulas proposed in the article. Cardboard and paper are a composition of fibrous semi-finished products, therefore, it is necessary to first calculate the technological indicators of discharge for the production of unbleached softwood pulp, bleached softwood pulp, bleached hardwood pulp and, in accordance with the composition, calculate the technological indicators and, in accordance with the efficiency of the treatment facilities, obtain the final values technological indicators. Based on the calculation results, graphs were constructed showing the contribution of each production process to the technological discharge standard.

Keywords: technological regulation, pulp and paper production, permissible discharge standards, balance method, objects of technological regulation.

ЕПИФАНОВ Андрей Валерьевич – доцент Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-3429-9835 ResearcherID: AAX-5435-2021.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: epifandr@yandex.ru

EPIFANOV Andrey V. – PhD (Technical), Assistant Professor Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0002-3429-9835. Researcher ID: AAX-5435-2021.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: epifandr@yandex.ru

ЕПИФАНОВА Марина Анатольевна – старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-5709-527X, ResearcherID: AAX-5432-2021.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: epif.marina@gmail.com

EPIFANOVA Marina A. – PhD (Technical), Senior Lecturer Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0002-5709-527X, ResearcherID: AAX-5432-2021.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: epif.marina@gmail.com

РЫБНИКОВ Олег Валентинович – исполнительный директор НПАО «Светогорский ЦБК».

188990, ул. Заводская, д. 17, г. Светогорск, Выборгский район, Ленинградская область, Россия. E-mail: oleg_rybnikov@yahoo.com

RYBNIKOV Oleg V. – Executive Director of NPAO «Svetogorsky CBK».

188990. Zavodskaya str. 17. Svetogorsk. Vyborg district. Leningrad region. Russia. E-mail: oleg_rybnikov@yahoo.com

АКИМ Эдуард Львович – профессор Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-0098-6565, ResearcherID: B-4128-2018, Author ID: 6701739751.

191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: akim-ed@mail.ru

AKIM Eduard L. – DSc (Technical), Professor Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0002-0098-6565, ResearcherID: B-4128-2018, Author ID: 6701739751.

191186. Bolshaya Morskaya str. 18. St. Petersburg. Russia. E-mail: akim-ed@mail.ru