

**М.А. Епифанова, А.В. Епифанов, Э.Л. Аким**

## **АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ НЕСКОЛЬКИХ ОБЪЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ**

*Введение.* Современный этап оценки уровня экологичности целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) предполагает, в том числе расчет технологических показателей и технологических нормативов. [Jolley J.. 2020] Технологические показатели рассчитываются для объектов технологического нормирования, к которым, как правило, относят производство основной продукции комбината. В то же время интегрированные целлюлозно-бумажные предприятия выпускают широкий ассортимент продукции, а сброс сточных вод, как правило, осуществляется после очистных сооружений комбината единым потоком. При этом большая часть продукции производится и реализуется по схеме «В-to-В», и остальная часть – по схеме «В-to-С». В связи с переходом мира к низкоуглеродной экономике, с расчетами углеродного следа для конечной продукции, ее производитель запрашивает у ЦБК данные по углеродному следу их продукции.

*Актуальность.* Расчет технологических показателей отдельно по видам выпускаемой продукции позволяет ЦБК оптимизировать количество загрязняющих веществ, не превышая установленных в комплексном экологическом разрешении (КЭР) *технологических нормативов*.

*Состояние вопроса.* Современное российское законодательство не содержит алгоритмов расчета технологических показателей отдельно по каждому из видов выпускаемой продукции для интегрированных предприятий. 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.* Впервые предложен общий алгоритм расчета технологических показателей для интегрированного ЦБК с учетом сброса сточных вод после очистных сооружений промышленных стоков.

*Цель исследования.* Разработка алгоритма расчета технологических показателей отдельно по видам выпускаемой продукции для интегрированно-

го целлюлозно-бумажного комбината при сбросе сточных вод после очистки сточных вод на единых очистных сооружениях промышленных стоков.

*Материалы и методики исследования.* Использован балансовый метод расчёта значений масс загрязняющих веществ, образующихся на тонну выпускаемой продукции ЦБК на основе масс загрязняющих веществ, образующихся во вспомогательных технологических процессах, с учетом очистки сточных вод на общепроизводственных очистных сооружениях.

Разработанный алгоритм расчета технологических показателей базировался на общих схемах технологических процессов производства волокнистых полуфабрикатов и конечной продукции [Осипов и др., 2003; Leiviska, 2009]. Были выявлены общие характеристики производственного процесса и этапы, на которых образуются основные загрязненные сточные воды [Смирнов, 2006; Смирнов, 2008]. Такой подход позволяет по известным начальным данным вычислить конечные концентрации загрязняющих веществ, и учесть их при расчете технологических показателей предприятия.

*Результаты исследования.* Как известно, согласно Приказу МПР от 14 февраля 2019 года N 89 «Об утверждении Правил разработки технологических нормативов», ЦБК по маркерным веществам должны рассчитать фактические значения технологических показателей, измеряемые в килограммах загрязняющего вещества, образующегося на тонну выпускаемой продукции. При этом все крупнейшие предприятия отрасли вошли в так называемый «Список №1» и должны до 1 января 2023 года получить комплексные экологические разрешения (КЭР). В рамках получения КЭР проводят сравнение фактических технологических показателей с технологическими показателями наилучших доступных технологий, утвержденных Приказом Минприроды РФ от 27.08.2019 N 579. Технологические показатели установлены отдельно для продукции, нормируемой по беленой или небеленой целлюлозе. Если фактические значения технологических показателей превысят значения технологических показателей НДТ, то необходимо будет разработать водоохранные мероприятия по достижению этих показателей и, до момента их достижения, оплачивать негативное воздействие на водные объекты со стократным повышающим коэффициентом.

Если ЦБК производят товарную небеленую целлюлозу и картон из нее, то всю продукцию можно нормировать по небеленой целлюлозе. Аналогичная ситуация происходит и при производстве беленой целлюлозы и бумаги, когда всю продукцию можно нормировать по беленой целлюлозе.

Если ЦБК выпускает продукцию, содержащую в композиции беленую и небеленую целлюлозу, то необходимо отдельно рассчитать технологиче-

ские показатели для продукции, нормируемой по беленой и небеленой целлюлозе, с учетом их очистки на общезаводских очистных сооружениях. Основные технологии производства готовой продукции интегрированными ЦБК приведены в информационно-техническом справочнике №1 «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги и картона» [ИТС 1-2015], а также в ряде других источников [Осипов и др., 2004; Leiviska, 2009].

Как известно, в настоящее время в мире производится свыше 420 млн тонн бумаги и картона, для получения которых используются первичные и вторичные волокна (макулатура) [Forest Products, 2019]. При этом объемы использования вторичного волокна превышают объемы использования первичных волокон, а кратность использования вторичного волокна достигает 6-8 раз. Это рассматривается как одно из направлений циркулярной экономики [Hansen, 2017; Forest Products 2019; 2021; Valois, 2021]. При этом основным сырьем является древесина, заготавливаемая в устойчиво управляемых лесах как в природных, так и плантационных [Hansen, 2017; Confederation of European Paper Industries, 2021].

В свою очередь производство первичных волокнистых полуфабрикатов принято делить на производство целлюлозы – беленой и небеленой, и полуфабрикатов высокого выхода – древесной массы (дефибрерной – ДДМ и рафинерной – РДМ), термомеханической – ТММ, химикотермомеханической древесной массы – ХТММ и беленой химикотермомеханической древесной массы – БХТММ.

Для удобства дальнейших расчетов классифицируем всю продукцию ЦБК на:

1. Первичные волокнистые полуфабрикаты небеленые (ПВПФн/б) – сюда отнесем небеленую хвойную и лиственную целлюлозу, ТММ, ХТММ;
2. Первичные волокнистые полуфабрикаты беленые (ПВПФб) – сюда отнесем беленую хвойную и лиственную целлюлозу, БХТММ;
3. Продукцию полного цикла – сюда отнесем бумагу, картон и продукцию их переработки.

Очевидно, что ПВПФн/б могут быть как отдельным товарным продуктом, так и сырьем для производства ПВПФб, а ПВПФб могут быть товарным продуктом или сырьем для производства продукции полного цикла.

Для расчета технологических показателей по каждому виду продукции предложен алгоритм, состоящий из 5 этапов:

Этап 1 – Построение балансовой схемы расчета технологических показателей.

Этап 2 – Расчет технологических показателей для первичных волокнистых полуфабрикатов небеленых.

Этап 3 – Расчет технологических показателей для первичных волокнистых полуфабрикатов беленых.

Этап 4 – Расчет технологических показателей для продукции полного цикла.

Этап 5 – Расчет значений технологических показателей для каждого вида продукции с учетом очистки на общепроизводственных очистных сооружениях.

Большинство отечественных крупных целлюлозно-бумажных комбинатов строились, начиная со 2-й половины XX в., как предприятия по биорефайнингу древесины (Архангельск, Котлас, Братск, Усть-Илимск, Светогорск и др.), поэтому для них характерно производство широкого ассортимента продукции. В настоящей статье рассматривается один из наиболее простых видов; более всего эта модель может быть отнесена к Светогорскому комбинату в рамках 1990 г. В настоящее время это 2 самостоятельных предприятия Сильвамо Корпорейшн Рус (быв. Интернешнл Пейпер) и Эссити (быв. ЭйСиЭй), которые имеют, при наличии трех систем локальной очистки стоков, объединенный выпуск сточных вод после обще заводских очистных сооружений [Рыбников, 2013; Троянская, 2018].

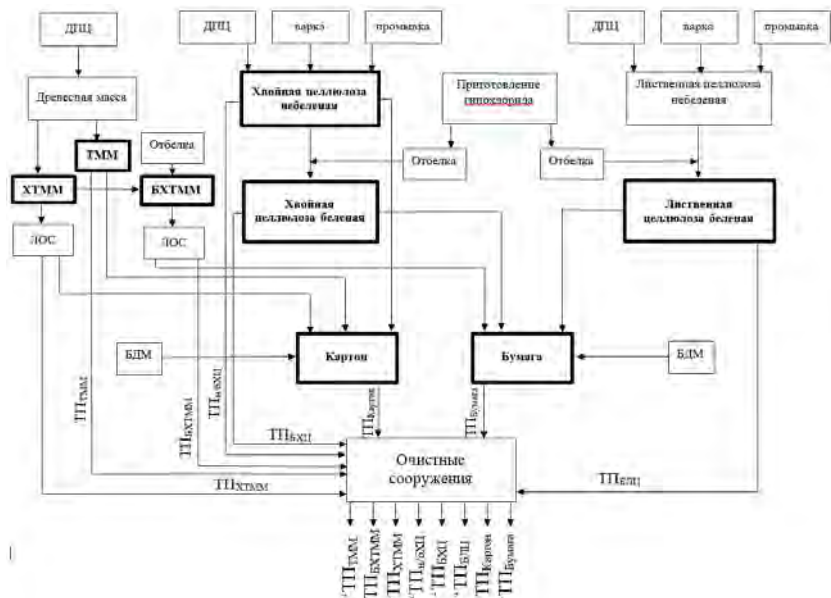
Предположим, что интегрированный ЦБК производит следующий ассортимент полупродуктов и продукции, причем в рамках интегрированного ЦБК большая часть волокнистых полуфабрикатов на этом же предприятии перерабатывается в бумагу и картон:

- 1) хвойную небелёную целлюлозу;
- 2) хвойную белёную целлюлозу;
- 3) лиственную белёную целлюлозу;
- 4) различные виды бумаги;
- 5) различные виды картона;
- 6) различные виды химикотермомеханической древесной массы.

Талловое масло и скипидар являются побочными видами продукции, получаемыми в основном производстве, поэтому в расчете технологических показателей их не учитываем.

На рисунке предложена типовая балансовая схема расчета технологических показателей.

На данной схеме приведены: первичные небеленые и беленые волокнистые полуфабрикаты, продукция полного цикла, а также типовые технологические процессы, приводящие к загрязнению сточных вод маркерными веществами.



Балансовая модель вклада отдельных производственных процессов в значения технологических показателей готовой продукции

Balance model of the contribution of individual production processes to the values of technological indicators of finished products

На втором этапе рассчитываем значения технологических показателей для ПВПФн/б, как отношение массы загрязняющих веществ, образовавшихся во вспомогательных процессах к годовой массе выпуска воздушно сухих ПВПФн/б.

Если все ПВПФб являются товарным продуктом, то вся масса загрязняющих веществ относится к этой продукции.

Если часть ПВПФб является сырьем для производства продукции более высокого уровня, то выделяется доля загрязняющих веществ, относящаяся к ПВПФн/б.

### Первичные волокнистые полуфабрикаты небеленые

*Небеленая хвойная целлюлоза*

$$TP_{н/бХЦ} = \frac{N_{вар.+пром}^{ХЦ} + N_{срот}^{ХЦ} + N_{рег.хим}^{ХЦ}}{M_{н/бХЦ}}, \quad (1)$$

$N_{вар.+пром}^{ХЦ}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе варки и промывки хвойной целлюлозы, кг;

$N_{\text{рег.хим}}^{\text{ХИ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе регенерации химикатов, использованных в процессе варки хвойной целлюлозы, кг;

$\text{ТП}_{\text{н/бХЦ}}$  – технологический показатель по небеленой хвойной целлюлозе, кг/т;

$M_{\text{н/бХЦ}}$  – масса произведенной небеленой хвойной целлюлозы, т.

*Небеленая листовая целлюлоза*

$$\text{ТП}_{\text{н/бЛЦ}} = \frac{N_{\text{ДПЦ}}^{\text{ЛЦ}} + N_{\text{вар.}}^{\text{ЛЦ}} + N_{\text{пром.}}^{\text{ЛЦ}}}{M_{\text{н/бЛЦ}}}. \quad (2)$$

$N_{\text{н/бЛЦ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе производства небеленой листовой целлюлозы, кг;

$N_{\text{вар}}^{\text{ЛЦ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе варки, кг;

$N_{\text{пром}}^{\text{ЛЦ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в результате промывки, кг;

$\text{ТП}_{\text{н/бЛЦ}}$  – технологический показатель по небеленой листовой целлюлозе, кг/т;

$M_{\text{н/бЛЦ}}$  – масса произведенной небеленой листовой целлюлозы, т.

На третьем и четвертом этапах аналогичные расчеты делаются для вторичных волокнистых полуфабрикатов и финальной продукции:

### **Первичные волокнистые полуфабрикаты белые**

*Белая хвойная целлюлоза*

$$\text{ТП}_{\text{БХЦ}} = \text{ТП}_{\text{н/бХЦ}} + \frac{N_{\text{отбелка}}^{\text{ХЦ}}}{M_{\text{БХЦ}}}, \quad (3)$$

$N_{\text{отбелка}}^{\text{ХЦ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе отбелки хвойной небеленой целлюлозы, кг;

$M_{\text{БХЦ}}$  – масса произведенной белой хвойной целлюлозы, т.

*Белая листовая целлюлоза*

$$\text{ТП}_{\text{БЛЦ}} = \text{ТП}_{\text{н/бЛЦ}} + \frac{N_{\text{отбелка}}^{\text{ЛЦ}}}{M_{\text{БЛЦ}}}, \quad (4)$$

$N_{\text{отбелка}}^{\text{ЛЦ}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе отбелки листовой небеленой целлюлозы, кг;

$M_{\text{БЛЦ}}$  – масса произведенной белой листовой целлюлозы, т.

*Термомеханическая масса*

$$ТП_{ТММ} = \frac{N_{ДМ} \cdot y_{ТММ}}{M_{ТММ}}, \quad (5)$$

$ТП_{ТММ}$  – технологический показатель по ТММ, кг/т;

$N_{ДМ}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе производства древесной массы, кг;

$y_{ТММ}$  – доля древесной массы, которая пошла на производство ТММ,

$M_{ХТММ}$  – масса произведенной ХТММ, т.

*Химико-термомеханическая масса*

$$ТП_{ХТММ} = \frac{N_{ДМ} \cdot y_{ХТММ} \cdot k_{ЛОС}^{ХТММ}}{M_{ХТММ}}, \quad (6)$$

$ТП_{ХТММ}$  – технологический показатель по ХТММ, кг/т;

$y_{ХТММ}$  – доля древесной массы, которая пошла на производство ХТММ;

$M_{ХТММ}$  – масса произведенной ХТММ, т;

$k_{ЛОС}^{ХТММ}$  – эффективность очистки сточных вод, образовавшихся при производстве ХТММ.

*Беленая химико-термомеханическая масса*

$$ТП_{БХТММ} = \frac{(N_{ХТММ} + N_{отбелка}) \cdot k_{ЛОС}^{БХТММ}}{M_{БХТММ}}, \quad (7)$$

$ТП_{БХТММ}$  – технологический показатель по БХТММ, кг/т;

$N_{отбелка}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе отбелки ХТММ, кг

$M_{БХТММ}$  – масса произведенной БХТММ, т.

**Продукция полного цикла**

*Бумага*

$$N_{бумага} = N_{БХЦ} \cdot y_{БХЦ}^6 + N_{БЛЦ} \cdot y_{БЛЦ}^6 + N_{ДМ} \cdot y_{ДМ}^6 + N_{БДМ}^B, \quad (8)$$

$N_{бумага}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе производства бумаги, кг;

$y_{БЛЦ}^6$ ,  $y_{БХЦ}^6$ ,  $y_{н/бХЦ}^6$ ,  $y_{ДМ}^6$  – доли белой лиственной целлюлозы, белой хвойной целлюлозы, небеленой хвойной целлюлозы, древесной массы, которые пошли на производство бумаги;

$N_{БДМ}^B$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся от работы бумагоделательной машины при производстве бумаги, кг.

$$ТП_{бумага} = \frac{N_{бумага}}{M_{бумага}}, \quad (9)$$

$ТП_{бумага}$  – технологический показатель по бумаге, кг/т;

$M_{\text{бумага}}$  – масса произведенной бумаги, т.

*Картон*

$$N_{\text{картон}} = N_{\text{БХЦ}} \cdot Y_{\text{БХЦ}}^{\text{к}} + N_{\text{н/БХЦ}} \cdot Y_{\text{н/БХЦ}}^{\text{к}} + N_{\text{БЛЦ}} \cdot Y_{\text{БЛЦ}}^{\text{к}} + N_{\text{ДМ}} \cdot Y_{\text{ДМ}}^{\text{к}} + N_{\text{БДМ}}^{\text{к}}, \quad (10)$$

$N_{\text{картон}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся в процессе производства картона, кг;

$Y_{\text{БХЦ}}^{\text{к}}, Y_{\text{н/БХЦ}}^{\text{к}}, Y_{\text{БЛЦ}}^{\text{к}}, Y_{\text{ДМ}}^{\text{к}}$  – доли беленой лиственной целлюлозы, беленой хвойной целлюлозы, небеленой хвойной целлюлозы, древесной массы, которые пошли на производство картона;

$N_{\text{БДМ}}^{\text{к}}$  – количество загрязняющих веществ, образовавшихся от работы бумагоделательной машины при производстве бумаги, кг.

$$\text{ТП}_{\text{картон}} = \frac{N_{\text{картон}}}{M_{\text{картон}}}, \quad (11)$$

$\text{ТП}_{\text{картон}}$  – технологический показатель по картону, кг/т;

$M_{\text{картон}}$  – масса произведенного картона, т.

Так как все производственные сточные воды ЦБК очищаются на производственных очистных сооружениях, то значения технологических показателей для каждого вида продукции необходимо пересчитать с учетом эффективности работы очистных сооружений [Боголицин, 2021; Usha, 2016].

На первом этапе рассчитываем эффективность очистки сточных вод  $K$  на очистных сооружениях по формуле:

$$K = \frac{C_{\text{ст}}^{\text{до}}}{C_{\text{ст}}^{\text{после}}}, \quad (12)$$

$C_{\text{ст}}^{\text{до}}$  – концентрация загрязняющего вещества до очистки, мг/л;

$C_{\text{ст}}^{\text{после}}$  – концентрация загрязняющего вещества после очистки, мг/л.

Затем для каждого вида продукции пересчитываем значение технологического показателя по формуле:

$$\text{ТП}_i = \frac{\text{ТП}_i}{K}, \quad (13)$$

$\text{ТП}_i$  – технологический показатель по  $i$ -й продукции после очистки, кг/т.

*Вывод.* Разработан алгоритм [Епифанов и др., 2019] и функциональные зависимости расчета технологических показателей отдельно по видам выпускаемой продукции для интегрированного предприятия ЦБК при сбросе сточных вод после очистки сточных вод на единых очистных сооружениях промышленных стоков.

### Библиографический список

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



производственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья, 2021. № 2. С. 343–352.

*Боголицын К.Г., Соболева Т.В., Гусакова М. А., Почтовалова А.С., Личутина Т.Ф.* Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП.// Екатеринбург, 2010. С. 60–108.

*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 // Известия вузов. Лесной журнал. 2008. № 2. С. 108–117.

*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.

*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 НДТ-1 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. М.: Бюро НДТ. 2015. С. 479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128661>

Комитет по лесу(ам) и лесной отрасли. Ежегодный обзор рынка лесных товаров 2017-2018. Женева. ЕЭК ООН, 2019. 158 с.

*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 А.М., Смирнов М.Н., Мошкин С.С., Коваленко М.В., Аким Э.Л.* Водопользование – реализация инновационных идей // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. № 8, С. 66–72.

*Смирнов М.Н., Локшин Ю.Х., Смирнов А.М., Аким Э.Л.,* Современная концепция водопользования на предприятиях ЦБП.// Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 6. С. 66–74.

Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х т. Т. I, Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. Производство полуфабрикатов: справочные материалы / Всерос. науч.-исслед. ин-т цел.-бум. пром-сти (ВНИИБ) / редкол.: П.С. Осипов (отв. ред.) и др. СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х т. Т. I, Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов: справочные материалы / Всерос. науч.-исслед. ин-т цел.-бум. пром-сти (ВНИИБ) / редкол.: П.С. Осипов (отв. ред.) и др. СПб.: Политехника, 2004. 316 с.

*Троянская А.Ф.* Научно-технические и правовые аспекты предотвращения негативного воздействия производства блененой целлюлозы на окружающую среду // Региональная экология. 2018. С. 111–124.

*Шишкин А.И. Епифанов А.В.* Интеграция экологического нормирования в системе «Предприятие ЦБП-водный объект» // Целлюлоза, бумага, картон. 2006. № 8. С.74–78.

Confederation of European Paper Industries Key Statistics European pulp & paper industry, Cefi, Brussels. 2021. P. 32.

*Dusha M.T., Sarat Chandra T., Sarada R., Chauhan Removal V.S.* OF nutrients and organic pollution load from pulp and paper mill effluent by microalgae in outdoor open pond // *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 214. P. 856–860. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.060>

Forest Products Annual. Market Review 2020–2021 United Nations // Geneva, 2021.

Forest Products. Food and Agriculture. Organization of the United Nation, Rome, 2019. P. 436.

*Hansen E., Panwar R., Vlosky R.* The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects, NY: Taylor & Francis Group, 2017. P. 462.

*Jolley J.G., Khalaf C., Michaud G.L., Douglas Belleville.* The economic contribution of logging, forestry, pulp & paper mills, and paper products: A 50-state analysis // *Forest Policy and Economics*. 2020. Vol. 115. P. 102–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102140>

*Leiviska T.* Coagulation and size fractionation studies on pulp and paper mill process and wastewater streams. *Oulun Yliopisto*, Oulu. 2009. P. 114.

*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., Gabriele Klein, Ioanna Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo, Germán Giner Santonja, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho.* 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>

*Valois M, Akim E.* Chapter 5. Pulp and paper. *Forest Products Annual Market Review 2020–2021*. United Nations, Geneva, 2021.

## References

*Bogolicyn K.G., Moskaljuk E.A., Kostogorov N.M., Shul'gina E.V., Ivanchenko N.L.* Primenenie integral'nyh pokazatelej kachestva stochnyh vod dlja vnutriproizvodstvennogo jekologo-analiticheskogo kontrolja proizvodstva celljulozy. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2021, no. 2, pp. 343–352. (In Russ.)

*Bogolicyn K.G., Soboleva T.V., Gusakova M.A., Pochtvalova A.S., Lichutina T.F.* Nauchnye osnovy jekologo-analiticheskogo kontrolja promyshlennyh stochnyh vod CBP. *Ekaterinburg*, 2010, pp. 60–108. (In Russ.)

Confederation of European. Paper Industries Key Statistics European pulp & paper industry, Cefi, Brussels. 2021. p. 32.

*Epifanov A.V., Epifanova M.A.* Algoritm upravlenija vodoohrannoj dejatel'nost'ju AO «Segezhsnij CBK» na osnove matematicheskogo modelirovanija. *Voprosy radiojelektroniki*, 2019, no. 1(7), pp. 106–109. (In Russ.)

Forest Products Annual. Market Review 2020–2021. United Nations. Geneva, 2021.

Forest Products. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Rome, 2019, p. 436.

*Germer Je.I.* Sovremennaja koncepcija jekologicheskogo normirovanija tehnologicheskikh processov CBP i vozmozhnye puti ee realizacii v Rossii. O proekte novoj sistemy jekologicheskogo normirovanija – predposylki ego pojavlenija i konceptual'nye reshenija; problemy, ostavshiesja za ramkami proekta. *Izvestija vuzov. Lesnoj zhurnal*, 2008, no. 2, pp. 108–117. (In Russ.)

*Hansen E., Panwar R., Vlosky R.* The Global Forest Sector: Changes, Practices, and Prospects, NY: Taylor & Francis Group, 2017, p. 462.

ITS NDT-1 Proizvodstvo celljulozy, drevesnoj massy, bumagi, kartona. Moskva: Bjuro NDT. 2015, p. 479. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128661>. (In Russ.)

*Jolley J.G., Khalaf C., Michaud G.L., Douglas Belleville* The economic contribution of logging, forestry, pulp & paper mills, and paper products: A 50-state analysis. *Forest Policy and Economics*, 2020, vol. 115, pp. 102–140. URL: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102140>.

Komitet po lesa i lesnoj otrasli Ezhegodnyj obzor rynka lesnyh tovarov 2017–2018: Zheneva: EJeK OON, 2019. 158 p. (In Russ.)

*Leiviska T.* Coagulation and size fractionation studies on pulp and paper mill process and wastewater streams. Oulun Yliopisto, Oulu. 2009, p.114.

*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>

*Rybnikov O.V., Bondarenko N.P., Mandre Ju.G., Akim E.L.* Pojetapnaja jekologo-tehnologicheskaja rekonstrukcija integrirovannogo celljulozno-bumazhnogo kombinata ZAO IP («OAO Svetogorsk»). *Celljuloza. Bumaga. Karton*, 2013, no. 5, pp. 62–68. (In Russ.)

*Shishkin A.I. Epifanov A.V.* Integracija jekologicheskogo normirovanija v sisteme «Predprijatje CBP-vodnyj objekt». *Celljuloza. Bumaga. Karton*, 2006, no. 8, pp. 74–78. (In Russ.)

*Smirnov A.M., Smirnov M.N., Moshkin S.S., Kovalenko M.V., Akim E.L.* Vodopol'zovanie – realizacija innovacionnyh idej, *Celljuloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 8, pp. 66–72. (In Russ.)

*Smirnov M.N., Lokshin Ju.H., Smirnov A.M., Akim E.L.,* Sovremennaja koncepcija vodopol'zovanija na predpriyatijah CBP. *Celljuloza. Bumaga. Karton*, 2006, no. 6, pp. 66–74. (In Russ.)

*Suhr M., Gabriele Klein, Ioanna Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo, Germán Giner Santonja, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho* 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>

Tehnologija celljulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 vols. Vol I, Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov. Ch. 2. Proizvodstvo polufabrikatov: Spravochnye

materialy / Vseros. nauch.-issled. in-t cel.-bum. prom-sti (VNIIB); redkol.: P.S. Osipov (otv. red.) i dr. . St. Peterburg: Politehnika, 2003. 633 p. (In Russ.)

Tehnologija celljulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 vols. Vol. I, Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov ch. 3. Proizvodstvo polufabrikatov: Spravochnye materialy / Vseros. nauch.-issled. in-t cel.-bum. prom-sti (VNIIB); redkol.: P.S. Osipov (otv. red.) i dr. St. Peterburg: Politehnika, 2004. 316 p. (In Russ.)

*Trojanskaja A.F.* Nauchno-tehnicheskie i pravovye aspekty predotvrashhenija negativnogo vozdejstvija proizvodstva belenoj celljulozy na okruzhajushhiju sredu. *Regional'naja jekologija*, 2018, pp. 111–124. (In Russ.)

*Usha M.T., Sarat Chandra T., Sarada R., Chauhan Removal V.S.* OF nutrients and organic pollution load from pulp and paper mill effluent by microalgae in outdoor open pond. *Bioresource Technology*, 2016, vol. 214, pp. 856–860. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.060>.

*Valois M., Akim E.* Chapter 5. Pulp and paper. Forest Products. Annual Market Review 2020-2021. United Nations, Geneva, 2021 .

*Zhil'nikova N.A., Shishkin A.I., Epifanov A.V., Epifanova M.A.* Algoritm upravlenija pereraspredeleniem tehnogennoj nagruzki dlja territorial'nyh prirodno-tehnicheskikh kompleksov na osnove geoinformacionnyh system. *Informacionno-upravljajushhie sistemy*, 2017, no. 1 (86), pp. 93–101. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 28.09.2021*

---

**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. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.258-271

Цель исследования – разработка алгоритма расчета технологических показателей отдельно по видам выпускаемой продукции для интегрированного целлюлозно-бумажного комбината при сбросе сточных вод после очистки сточных вод на единых очистных сооружениях промышленных стоков. Использован балансовый метод расчёта значений масс загрязняющих веществ, образующихся на тонну выпускаемой продукции ЦБК на основе масс загрязняющих веществ, образующихся во вспомогательных технологических процессах, с учетом очистки сточных вод на общепроизводственных очистных сооружениях. Технологические показатели установлены отдельно для продукции, нормируемой по беленой или небеленой целлюлозе. Если фактические значения технологических показателей превысят значения технологических показателей НДТ, то необходимо разработать водоохранные мероприятия по достижению этих показателей и, до момента их достижения, оплачивать негативное воздействие на водные объекты со стократным повышающим коэффициентом. Разработан алгоритм и функциональные зависимости расчета технологических показателей для ЦБК, выпускающих продукцию, содержащую в композиции беленую и небеленую целлюлозу. Алгоритм рассмотрен на примере условного ЦБК, выпускающего первичные небелёные и белёные волокнистые полуфабрикаты и продукцию полного цикла. К первичным волокнистым полуфабрикатам небеленым отнесены: хвойная и

лиственная целлюлоза, ТММ, ХТММ; к первичным волокнистым беленым полуфабрикатам отнесены: беленая хвойная и лиственная целлюлоза, БХТММ; к продукции полного цикла отнесены бумага, картон и продукция их переработки. Алгоритм расчета состоит из пяти этапов: 1 – построение балансовой схемы расчета технологических показателей; 2 – расчет технологических показателей для первичных волокнистых полуфабрикатов небеленых; 3 – расчет технологических показателей для первичных волокнистых полуфабрикатов беленых; 4 – расчет технологических показателей для продукции полного цикла; 5 – расчет значений технологических показателей для каждого вида продукции с учетом очистки на общепроизводственных очистных сооружениях.

**Ключевые слова:** технологические показатели, комплексное экологическое разрешение, интегрированные ЦБК.

**Epifanova M.A., Epifanov A.V., Akim E.L.** Algorithm of the calculation of technological for several objects of technological standardization. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2021, iss. 237, pp. 258–271 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.258-271

The purpose of the study is to develop an algorithm for calculating technological indicators separately by types of products for an integrated pulp and paper mill when discharging wastewater after wastewater treatment at unified industrial wastewater treatment plants. A balance method was used for calculating the values of the masses of pollutants formed per ton of output from the pulp and paper mill based on the masses of pollutants formed in auxiliary technological processes, taking into account wastewater treatment at general industrial treatment facilities. Technological indicators are set separately for products rated for bleached or unbleached pulp. If the actual values of technological indicators exceed the values of technological indicators BAT, then it is necessary to develop water protection measures to achieve these indicators and, until they are reached, to pay for the negative impact on water bodies with a hundredfold increasing coefficient. An algorithm and functional dependencies for calculating technological indicators for pulp and paper mills producing products containing bleached and unbleached cellulose in the composition have been developed. The algorithm is considered on the example of a conventional pulp and paper mill, which produces primary unbleached and bleached fibrous semi-finished products, and full-cycle products. Primary unbleached fibrous semi-finished products include: coniferous and deciduous cellulose, TMP, CTMP; primary fibrous bleached semi-finished products include: bleached softwood and hardwood pulp, BCTMP; full cycle products include: paper, cardboard and their processing products. The calculation algorithm consists of five stages: 1 – building a balance sheet for calculating technological indicators; 2 – calculation of technological indicators for primary fibrous semi-finished products, unbleached; 3 – calculation of technological indicators for primary fibrous semi-finished products bleached; 4 – calculation of technological indicators for full cycle products; 5 – calculation of the values of technological indicators for each type of product, taking into account cleaning at general production treatment facilities.

**Keywords:** technological indicators, integrated environmental permit, integrated pulp and paper mills.

**ЕПИФАНОВА Марина Анатольевна** – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. 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 student 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

**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 ResearcherID, AAX-5435-2021.

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

**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 Scopus 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 Scopus 6701739751.

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