

# Ц Б К

*Pulp*

## еллюлоза

*Paper*

## умага

*Board*

## артон

05 [2013]

- Для повышения энергоэффективности.
- Потенциал: АО "Кондопога"; Сухонский ЦБК; "Сыктывкар Тиссю Групп", Ярославская бумага".
- В секторе товарной целлюлозы.
- Итоги четырех месяцев.
- Очередное заседание "Дискуссионного Клуба".
- Новые разработки специалистов С(А)ФУ; ЦНИИБа, СПб ГЛТУ; Петрозаводского ГУ.
- Экология и отрасль.
- За рубежом: Voith; Kadant; PMT.
- Конференции, семинары, выставки...

# Поэтапная эколого-технологическая реконструкция интегрированного предприятия ЦБП

О. В. Рыбников,  
Н. П. Бондаренко,  
АО «Интернешнл Пейпер»;  
Ю. Г. Мандре, Э. Л. Аким,  
СПб ГТУ РП

Для **Светогорского целлюлозно-бумажного комбината** вопросы обеспечения экологической безопасности, снижения воздействия деятельности предприятия на окружающую среду всегда стояли в одном ряду с обеспечением безопасных условий труда и, наряду с выполнением производственной программы, непрерывным совершенствованием технологических процессов и повышением конкурентоспособности выпускаемой продукции. Связано это не только с экологической и социальной ответственностью собственника комбината – крупнейшей международной целлюлозно-бумажной компанией мира **International Paper (Интернешнл Пейпер)**, но и, в том числе, с расположением комбината в непосредственной близости с городом и с Российско-Финской границей. Кроме того, предприятие находится на берегу реки Вуоксы – относительно небольшой, но полноводной реки, на которой на территории Финляндии также располагается несколько предприятий ЦБП.

Построенный в конце XIX века комбинат неоднократно модернизировался и реконструировался. В конце 1998 года, с приходом компании **International Paper**, комбинат вступил в новую фазу своего развития. В период с 1999 года компания инвестировала в предприятие более 600 млн долларов США. Это позволило не только практически в два раза увеличить производительность по бумаге и картону, одновременно увеличив потребление древесины с 1,4 до 2,1 млн м<sup>3</sup> в год, но и полностью обновить структуру выпускаемой продукции. Предприятие перешло на выпуск наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью, конкурентоспособной и востребованной на российском и мировом рынках – офисной бумаги и многослойного, чисто целлюлозного, в том числе мелованного картона для упаковки жидких пищевых продуктов. Такое изменение структуры выпускаемой продукции позволило по этим видам продукции не только практически полностью осуществить импортозамещение, но и существенно нарастить объем экспорта [1]. Поставляя продукцию на экологически чувствительные рынки, комбинат должен оперативно реагировать на возрастающие требования потребителей к экологической характеристике ее происхождения.

Основополагающая часть бизнес-стратегии компании **International Paper** – изготовление продукции в безопасной и здоровой рабочей среде, разум-

ное использование природных ресурсов и постоянное совершенствование природоохранной деятельности.

С приходом на новое производство компания **International Paper** приняла на себя обязательства устранять условия и не допускать случаи, приводящие к травматизму или негативному воздействию на окружающую среду. При этом реализуется стратегия как постоянного осознанного улучшения экологических показателей, так и, в качестве важнейшей цели – нулевого количества инцидентов, связанных с производственным травматизмом.

Для реализации этой стратегии компания обязуется:

- Следовать всем международным и российским законам и постановлениям в области охраны окружающей среды, здоровья и безопасности, собственным правилам и обязательствам компании по охране окружающей среды, промышленной гигиене и безопасности, а также принципам охраны природы, здоровья и безопасности **Американской Ассоциации Леса и Бумаги** и программы **Sustainable Forestry Initiative (SFI)**<sup>sm</sup> [2, 3].

- Придавать особое значение предотвращению загрязнения окружающей среды, устранению технологических срывов и постоянному совершенствованию технологии.

Исходя из основополагающих принципов «устойчивого развития», которых неуклонно придерживается

компания International Paper, предусматривающих неразрывную связь экономического, социального и экологического развития, инвестиционные программы развития комбината предусматривали углубление переработки древесины и комплексного использования лесных ресурсов, переход на наукоемкие технологии, постоянное улучшение экологии [4]. При этом научное сопровождение инвестиционных программ осуществляли как научные и инженеринговые центры компании, так и научный партнер комбината – **Санкт-Петербургский Государственный Технологический Университет растительных полимеров (СПб ГТУ РП)** [5-9]. Университет имеет не только многолетние многоплановые связи с комбинатом, но и с 1991 взаимодействует с IP, в частности, выполнив в 1995-1996 гг. ряд работ по оптимизации систем водопользования на заводах IP в США.

Все мероприятия, которые реализовывались на комбинате, имели, кроме целей повышения эффективности производства, также и экологическую составляющую. Она касалась как сокращения газовых выбросов и сбросов сточных вод, так и сокращения объема твердых отходов, а в последние годы – и сокращения «углеродного следа»<sup>1</sup>.

В качестве примеров такого подхода можно привести следующие факты:

Комбинат стал первым предприятием в ЦБП России, полностью перешедшим на производство продукции без использования элементарного хлора (отбелка ECF). В результате была резко снижена токсичность стоков, как собственно промывки, так и в целом комбината и, соответственно, нагрузка на окружающую среду. Ранее, еще в 1980-е годы на комбинате была впервые в СССР реализована в промышленных масштабах технология производ-

ства сульфатной лиственной бленной целлюлозы без использования элементарного хлора – отбелка ECF. Работы проводились под руководством проф. **Г. Л. Акима** – «отца» кислородной отбелки [10]).

- За счет модернизации промывки небеленой целлюлозы обоих целлюлозных заводов (хвойного – САЦ-1 и лиственного САЦ-2) на предприятии была реализована программа значительного повышения качества небеленой целлюлозы. Эти мероприятия позволили значительно снизить расход химикатов на отбелку, улучшить показатели готовой продукции. Экологическим эффектом такой модернизации стало значительное снижение расхода химикатов на отбелку, значительное снижение количества органических загрязнений, попадающих в сточные воды.

- В отбельных цехах комбината была реализована система противоточной промывки, что позволило снизить удельный расход промывной воды с 65 до 25 м<sup>3</sup>/тонну целлюлозы [11-13].

- Модернизация систем водооборота бумаго- и картоноделательной машин позволила, кроме повышения качества выпускаемой продукции, также значительно снизить удельный расход воды на производство.

- Было осуществлено строительство завода осажденного карбоната кальция (РСС), с использованием для осаждения карбоната кальция диоксида углерода (углекислого газа) отходящих (дымовых) газов известерегенерационных печей. Использование РСС в качестве наполнителя для бумаги и картона позволило снизить расход древесного волокна на производство 1-ой тонны бумаги и картона и сократить выброс парниковых газов.

- Установка многотопливного котла – утилизатора (МТК) позволила отказаться от использования ископаемого топлива (мазута) для сжигания избыточного активного ила очистных сооружений (до этого ил сжигался в печах с кипящим слоем без утилизации тепла), а также, за счет эффективного использо-

вания тепла от совместного сжигания кородревесных отходов для получения пара и электроэнергии значительно сократить потребление природного газа и покупной электроэнергии, сократить выброс парниковых газов и, соответственно, «углеродный след» [12].

Кроме мероприятий, одновременно повышающих эффективность производства и оказывающих сопутствующий положительный экологический эффект, были реализованы мероприятия и чисто экологического направления.

Наиболее затратными из них были:

- Замена и капитальный ремонт оборудования очистных сооружений, заметно повысившее эффективность их работы.

- Внедрение системы сбора и сжигания дурнопахнущих газов сульфатцеллюлозного производства, значительно улучшившее ситуацию с газовыми выбросами в атмосферу [14].

- Модернизация систем газоочистки содорегенерационных котлов, позволившая резко, в 2,5 раза, снизить количество газо-пылевых выбросов.

Были также осуществлены другие мероприятия, повышающие экологическую безопасность производства:

- Осуществлено строительство защитных сооружений для сбора переливов в случае повреждения емкостей хранения щелоков.

- Проведена модернизация систем учета водопотребления и водоотведения.

- Проведены работы по дальнейшему повышению эффективности промывки.

- Проведены пилотные испытания установки флотации с целью выработки технических решений по реконструкции системы доочистки сточных вод.

- Выполнен проект строительства полигона для складирования промышленных отходов и твердых бытовых отходов города Светогорска.

- Проводится совместная работа с заводом SCA по производству СГБ и картонной фабрикой по улучшению качества сточных вод этих предприятий (стоки этих предприятий поступают на очистные сооружения комбината).

<sup>1</sup>Как известно, под «углеродным следом» понимают количество диоксида углерода, образующегося от сжигания ископаемого топлива, отнесенное к единице выпускаемой продукции.

- Разработаны и реализованы Комплексные системы управления качеством продукции (ISO 9001), охраны окружающей среды (ISO 14000) и др.

- Разработана, внедрена и сертифицирована на соответствие стандарту ISO14001:96 система устойчивого лесопользования.

Итогом этого этапа инвестиционной программы Светогорского ЦБК стало увеличение общей производительности предприятия примерно на 50%. При этом удельный расход воды на производство сократился примерно на 30%, а содержание загрязнений в очищенных стоках значительно снизилось. Так, содержание взвешенных веществ в очищенных стоках в 2004 г. по сравнению с 1998 г. снизилось в 4,9 раза, а содержание органических загрязнений (БПК) – 3,7 раза. В «разы» также снизилось содержание в стоках метанола, сернистых соединений, скипидара и других специфических загрязнений. На **рис. 1** показано снижение содержания основных загрязнений в стоках, сбрасываемых в реку Вуокса с 2000 до 2002 годов.

Разработка технических решений перечисленных выше мероприятий проводилась с использованием опыта инженеров Светогорска, компании Интернешнл Пейпер, университетской и отраслевой науки, проектировщиков, ведущих производителей оборудования и технологии – компаний **Метсо**, **Андриц**, **KWI**.

Интенсивная реализация первого этапа инвестиционной программы послужила своего рода тестом для предприятия.

Результаты от реализации оказались впечатляющими. Это, прежде всего, снижение себестоимости и повышение цены выпускаемой продукции, при значительном снижении экологической нагрузки от деятельности предприятия. Они также послужили доказательством того, что коллектив предприятия в состоянии внедрять и осваивать передовые технологии и оборудование, и заслужил право на дальнейшую

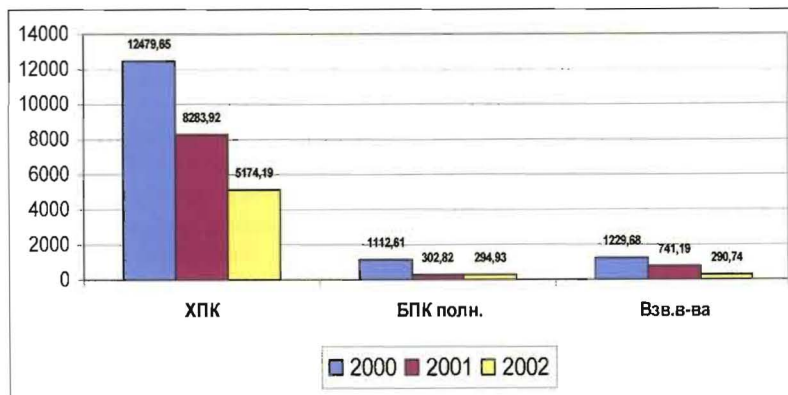


Рис. 1. Снижение сброса загрязнений с очищенными стоками в реку Вуокса.

программу инвестиций, направленных на повышение производительности, углубление переработки и увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью.

Однако высокая планка достигнутых показателей по качеству стоков на первый взгляд казалась препятствием для дальнейшего развития предприятия. Ведь в планах были крупные инвестиции в расширение производства и увеличение производительности. Планировалось провести модернизацию картоноделательной машины с установкой системы мелования, увеличить производительность машины по выработке белой бумаги и, наконец, осуществить строительство завода по производству беленой ХТММ.

В рамках новой инвестиционной программы ОАО «Светогорск» планировалось строительство нового завода по производству беленой химико-термомеханической массы (БХТММ), используемой в производстве бумаги и картона. Сырьем для БХТММ служит осина («тополь дрожащий») – невостребованная на сегодня порода древесины, не позволяющая эффективно вести лесопользование. В смешанных лесах осина рассматривается не только как неликвидная древесина, но и как сорная лесная порода, замедляющая рост высокоценных хвойных пород [15-16]. В то же время сегодня в мире тополь (осина) рассматривается как очень

перспективная порода, плантации которого позволили Китаю резко расширить производство лесной продукции (фанеры, бумаги) [17].

Беленая ХТММ относится к так называемым полуфабрикатам высокого выхода. Выход БХТММ из древесины осины составляет свыше 85%, в то время как при получении беленой сульфатной целлюлозы – около 50%. Таким образом, для производства одного и того же количества продукции требуется в полтора раза меньше древесины. Экологическое значение этого проекта для Северо-Западного региона РФ заключается также в том, что его реализация позволит экономить большое количество древесины других пород. Однако, производство БХТММ является с экологической точки зрения и наиболее сложным, так как при выходе продукции 85% в стоки попадает 15% от массы древесины, а использование традиционной системы регенерации сульфатного процесса не целесообразно.

Известно, что надзорные органы не соглашались на увеличение количества загрязнений в стоках, даже если удельное количество загрязнений на единицу продукции и снижается. Работники комбината прекрасно понимали, что условием согласования следующего этапа инвестиционной программы будет сохранение уровня валового сброса.

Эта задача решалась по трем основным направлениям: первое – усиление контроля и улучшение режима стокообразования действующего производства; второе – дальнейшее повышение эффективности работы существующих очистных сооружений; третье – при строительстве завода БХТМ предусмотреть строительство локальных очистных сооружений и проведение компенсирующих мероприятий, позволяющих при пуске завода не увеличить общий объем загрязнений, сбрасываемых в реку.

Для реализации **первого направления** было проведено дополнительное обследование режима стокообразования действующего производства, проанализированы и определены достижимые нормативы сброса по каждому производству и проведены мероприятия по ужесточению технологической дисциплины.

Для реализации **второго направления** была приглашена компания KWI (ведущая компания по технологиям и системам очистки стоков), а научное сопровождение работ осуществлял СПб ГТУ РП. Было проведено совместное обследование эффективности работы очистных сооружений, определен вклад каждого из производств, включая завод SCA (по производству СГБ), в формирование общего стока, как по объему, так и по основным видам загрязнений. Решено было осуществить реконструкцию системы доочистки стоков, которая была построена по проекту финских специалистов в период реконструкции предприятия в 1984 году. Установка считалась опытно-промышленной и с самого пуска не обеспечивала эффективности выше 30 %. Принцип работы установки – совмещенная в одном узле флотация и фильтрация стоков. В результате проведенной компанией KWI и СПб ГТУ РП реконструкции (**рис. 2**) узла доочистки [18] содержание взвешенных веществ в очищенном стоке снизилось до 3 – 7 мг/литр. Но, кроме того, выяснилось, что на песке, через который проходит



Рис. 2. Песчаные флотофильтры доочистки сточных вод.

фильтрация, нарастает тонкий слой активного ила, и, благодаря этому, в результате происходит снижение БПК в очищенном стоке до 4 – 5 мг/литр.

Третье направление должно было быть реализовано в составе проекта строительства завода БХТМ. После многочисленных встреч с различными фирмами, которые предлагали разные варианты организации локальной очистки стоков нового завода, была принята уникальная система как локальной очистки стоков БХТМ [19], так и реконструкции общезаводской очистки стоков.

Совместная очистка стоков завода БХТМ и действующего производства (два целлюлозных завода, бумаго- и картоноделательная машины, производства регенерации химикатов и завод по производству санитарно-гигиенических изделий, стоки которого поступают на очистные сооружения Светогорского ЦБК), требовала огромных капитальных затрат и не обеспечивала необходимого (достигнутого) уровня загрязнений в очищенном стоке.

Локальная биологическая аэробная очистка с высоко нагруженным активным илом также требовала высоких

капитальных и операционных затрат, и также не обеспечивала необходимой эффективности. Кроме того эти два способа предполагали значительное увеличение объема избыточного активного ила, что потребовало бы строительства дополнительных мощностей по его сжиганию.

Была отклонена анаэробная очистка, которая предполагала слишком большой риск нестабильной работы из-за высокой чувствительности к качеству и стабильности исходного стока, а также с возможным приданием производству категории «взрыво-пожароопасный».

В результате наилучшей была признана концепция, предложенная компанией KWI, совместно с СПб ГТУ РП.

Технология базируется на оптимальном сочетании общезаводской и локальных систем очистки сточных вод, доочистке сточных вод предприятий ЦБП до норм сброса в водоемы рыбо-хозяйственного назначения, а также на обработке и обезвоживании осадков и избыточного активного ила до показателей, позволяющих их использование в качестве низкокалорийного биотоплива.

Суть концепции заключалась в следующем. Сток завода БХТМ характе-



Рис. 3. Флотатор очистки стоков производства БХТММ.

ризуется невысоким удельным расходом и очень высокими концентрациями растворенных высокомолекулярных органических соединений, высокими концентрациями по взвешенным веществам (ВВ) и высокой температурой стока. Поэтому в качестве первой ступени локальной очистки, была выбрана механическая очистка на барабанных ситах (эффективность очистки по взвешенным веществам более 70%), а в качестве второй ступени локальной очистки – напорная флотация (рис. 3), которая позволяет снимать около 60% загрязнений (ВВ и ХПК).

После этого стоки направлялись на локальную биологическую очистку с продленным временем аэрации (для

этого был выделен один аэротенк) и высокой концентрацией активного ила. Высокая концентрация активного ила была получена за счет замены седиментационного илоразделения во вторичном отстойнике на флотационное илоразделение, которое позволяло получить концентрацию циркулирующего ила до 40 г/литр. Для аэрации и перемешивания иловой смеси старые поверхностные турбоаэраторы в аэротенке были заменены высокоэффективными турбоаэраторами (производства компании KWI). Локальная система биологической очистки практически полностью снимает растворенные легкоокисляемые органические вещества (выражаемые через БПК). Затем, после отделения

активного ила, сток поступает на вход существующих общезаводских очистных сооружений.

В начальной стадии работы был определен вклад каждого из производств, включая завод SCA (по производству СГБ), в формирование общего стока, как по объему, так и по основным видам загрязнений, и проведено совместное обследование эффективности работы общезаводских очистных сооружений.

При этом было установлено, что стоки завода SCA, внося около 15% в формирование общего стока по объему, приносят по одному из основных видов загрязнений – взвешенным веществам – свыше 50% от общего количества взвешенных веществ, поступающих на общезаводские очистные сооружения. Соответственно, для этого производства было рекомендовано создание системы локальной очистки стоков. Специалисты компании KWI, обследовав работу фабрики СГБ, предложили смонтировать на потоке сточных вод две установки напорной флотации SPC-24. Такая система была создана компанией KWI [20] и успешно эксплуатируется до сих пор. Эффективность очистки оборотной воды составляет: по взвешенным веществам 99 %, по зольности 99 %, по ХПК 80-85 %.

Для выявления и устранения источников вторичных загрязнений в системе общезаводской очистки стоков было повторно проведено обследование очистных сооружений. Такие источники были выявлены. Назовем их конкретно.

- Во-первых, это – система уплотнения илов седиментационным способом – илоуплотнители, которые работали неэффективно. В результате происходило анаэробное сбраживание ила. Это приводило к выбросам дурнопахнущих газовых веществ, всплыванию ила и, как следствие, к большой дополнительной нагрузке на сооружения биологической очистки по взвешенным веществам и по ХПК.

- Во-вторых, это – совместная система обезвоживания осадков первичных отстойников и избыточного активного ила. Это приводило к большим концентрациям взвешенных веществ (преж-



Рис. 4. Флотаторы для сгущения избыточного активного ила перед обезвоживанием.



Рис. 5. Флотатор для сгущения шлама песчаных флотофильтров доочистки стоков.

де всего избыточного ила), которые в виде вторичных загрязнений возвращались на вход очистных сооружений.

- В-третьих, возврат уловленных загрязнений с узла доочистки стоков на вход очистных сооружений, что также увеличивало нагрузку на биологическую очистку.

Устранение вторичных загрязнений позволило снизить нагрузку на очистные сооружения по ХПК почти на 14 т в сутки и, таким образом, дополнительно подготовить станцию к приему объема загрязнений от нового производства БХТММ.

После вторичных отстойников общезаводской биологической очистки весь сток поступает на блок глубокой доочистки.

- Замена уплотнения избыточного активного ила в уплотнителях – отстойниках на флотационное илоуплотнение позволила значительно повысить концентрацию уплотненного ила перед обезвоживанием и полностью исключило возврат загрязненной вторичными загрязнениями надильовой воды на биологическую очистку. Кроме того, было также исключено образование дурнопахнущих газов и их выбросы в атмосферу (рис. 4).

- Установленные современные прессы позволили получать из активного ила «биотопливо» с положительной теплотворной способностью.

- Система локальной очистки флошлама и промывных вод от станции глубокой доочистки позволила избежать значительной нагрузки на станцию и подать сконцентрированные загрязнения на обезвоживание (рис. 5).

По поручению завода, для проверки работоспособности и эффективности методов очистки, которые предложила компания, на аналогичном заводе БХТММ в Швеции, KWI и СПб ГТУ РП провели опытные испытания (этот завод был прототипом производства БХТММ на Светогорске).

После успешных испытаний и опытно-промышленной реконструкции одного из фло-фильтров была реализована полномасштабная схема локальной очи-

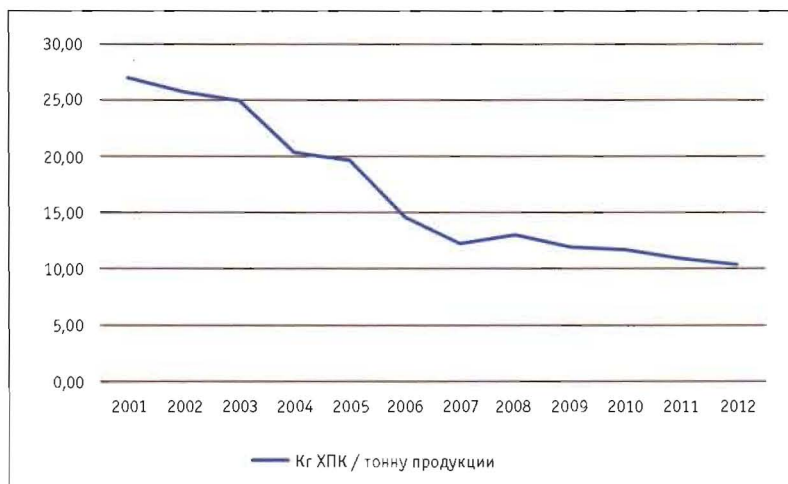


Рис. 6. Снижение удельного содержания загрязнений по ХПК в очищенных стоках.

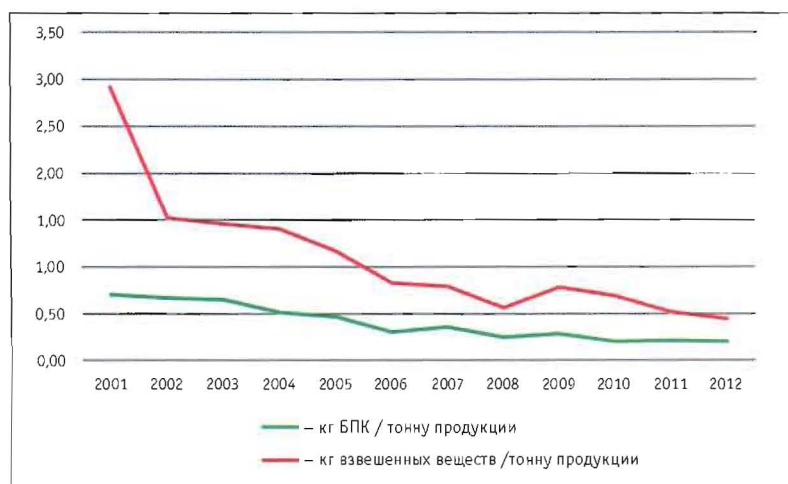


Рис. 7. Снижение удельного содержания загрязнений по БПК и взвешенным веществам в очищенных стоках.

стки стоков БХТММ и реконструкции общезаводской системы очистки стоков. Эти работы были осуществлены одновременно со строительством завода БХТММ.

Таким образом, в результате были выполнены обязательства по не увеличению экологической нагрузки при пуске завода БХТММ, была создана уникальная система локальной и общезаводской очистки стоков, полностью обеспечивающая выполнение всех су-

ществующих экологических норм. Было пущено и успешно эксплуатируется до настоящего времени производство БХТММ. На рис. 6 и 7 представлены данные по удельному количеству загрязнений в стоках.

Разработанная и поставленная компанией KWI технология и оборудование показали высокую надежность в эксплуатации, конкурентоспособные капитальные и операционные затраты.

Степень очистки стоков полностью соответствует как российским, так и международным экологическим нормам. Особенности этой технологии и оборудования описаны в ряде статей в журнале «ЦБК» [18-20] и защищены рядом патентов РФ [21-23].

Пятилетняя эксплуатация завода ХТММ и системы физико-химической очистки стоков показала хорошие результаты и возможность дальнейшей оптимизации процессов. С целью снижения уровня и вариативности ХПК были разработаны процедуры и стандарты по заготовке и хранению древесины, оптимизированы процессы пропитки, размола и отбели. На стадии физико-химической очистки, совместно с поставщиками оборудования и химикатов, отработаны процедуры и установлены ключевые производственные параметры процесса, обеспечивающие максимальную эффективность. Уже внедрены и планируются к внедрению малые инвестиционные проекты с хорошей окупаемостью, направленные на повышение энергоэффективности процесса (утилизация тепла стоков и увеличение сухости биотоплива).

Внедрение программы производственного совершенства и информационных систем на предприятии сегодня продолжает показывать хороший потенциал для дальнейших, практически без затратных улучшений работы системы очистки стоков ХТММ.

#### Список литературы

1. «Forest Products Annual Market Review, 2011-2012». UN ECE/FAO, United Nations, New York and Geneva, 2012, – 166 p.
2. «Состояние лесов мира – 2009», FAO, United Nations, Rome, 2009, 177p.
3. The United Nations World Water Development Report, 3. 2009, 344 c.
4. Мандре Ю. Г. Эколого-технологическая реконструкция ОАО «Светогорск». «Целлюлоза. Бумага. Картон.», – 2005. – № 6. – С. 20-22.
5. Мандре Ю. Г., Аким Э. Л. Поэтапная эколого-технологическая реконструкция предприятий ЦБП и проблема «отравления» технологических схем. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», – 2006. – № 1. – С. 26-30.
6. Мандре Ю. Г., Аким Э. Л. Проблемы «отравления» технологических схем при промывке небеленой целлюлозы, «Целлюлоза. Бумага. Картон.», – 2006. – № 7. – С. 68-75.
7. Мандре Ю. Г., Аким Э. Л. Проблемы «отравления» технологических схем на бумагоделательной машине и при производстве товарной целлюлозы. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», – 2006. – № 4. – С. 34-40.
8. 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.
9. 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.
10. Аким Г. Л. Кислородно-щелочная обработка целлюлозы. В книге: «Технология целлюлозно-бумажного производства», в 3 т. СПб. «Политехника». – Т. 1.: Древесное сырье и производство полуфабрикатов; Ч. 2: Производство полуфабрикатов. – 2003. – Стр. 451-470.
11. «Water Use Reduction in the Pulp and Paper Industry», PAPRICAN, Second Edition, December 2001, 172p.
12. «Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry», PAPRICAN, First Edition, November 1999, 234p.
13. Мандре Ю. Г., Коваленко М. В., Виноградов Н. В., Аким Э. Л. Резервы водо-сбережения при реконструкции сульфатцеллюлозных заводов. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», 2010, № 2, – с. 42-427, № 3, с. 30-34.
14. Мандре Ю. Г., Аким Э. Л. Сжигание дурнопахнущих газов – логический этап эколого-технологической реконструкции. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», – 2005 – № 7. – С. 24-27.
15. Аким Э. Л., Коваленко М. В., Рассказова Н. Я., Бучельникова Я. В. «Особенности использования осино-

вой древесины в ЦБП». «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 8. стр. 54-61, 2009.

16. Аким Э. Л., Бучельникова Я. В., Молотков Л. К., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Заяц Ю. Н., Сергеев А. Д., Рыбников О. В., Рассказова Н. Я. Биорефайнинг осины и других видов тополей. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 8, стр.26-31, 2011.

17. Аким Э. Л., Бучельникова Я. В., Молотков Л. К., Коваленко М. В., Мандре Ю. Г., Заяц Ю. Н., Сергеев А. Д., Рыбников О. В., Рассказова Н. Я. Плантационное выращивание тополя и развитие лесного сектора Китая. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 8, стр.63-68, 2011.

18. Смирнов А. М., Смирнов М. Н., Мандре Ю. Г., Коваленко М. В., Аким Э. Л. Инновационная технология водоподготовки и доочистки стоков – реконструкция песчаных фильтров (фильтров с зернистой загрузкой) в высоко-эффективные флото-фильтры. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 4, стр. 36-42, 2009.

19. Смирнов А. М., Смирнов М. Н., Коваленко М. В., Аким Э. Л. Физико-химическая очистка стоков беленой химико-термомеханической массы (БХТММ). «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № 3, стр. 53-58, 2009.

20. Смирнов М. Н., Аким Э. Л., Киселев Н. И., Коваль С. Н., Кутуляев С. А., Нужин Ю. А. Атака на тишью. «Целлюлоза. Бумага. Картон.», № \_\_, стр. \_\_, 2009.

21. «Способ очистки сточных вод напорной флотацией» Э. Л. Аким, М. Н. Смирнов, Мандре Ю. Г., Калчев Р. Патент на изобретение РФ № 2327646. Оpubл. 27.08.2008. Бюлл. № 18.

22. «Устройство для очистки сточной воды» Аким Э. Л., Смирнов М. Н., Мандре Ю. Г., Калчев Р. Патент на изобретение РФ № 2347751. Оpubл. 27.02.2009. Бюлл. № 6.

23. «Устройство для флотационной очистки сточных вод» Аким Э. Л., Алдохин Н. А., Беляков А. В., Смирнов М. Н., Патент на изобретение РФ № 2347754. Оpubл. 27.02.2009. Бюлл. № 6.