

УДК 66.02

НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ СБЛИЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИЙ

© 2022 г. В. П. Мешалкин^a, Н. Н. Кулов^b, Т. В. Гусева^{c, *}, И. О. Тихонова^a, Ю. Н. Бурвикова^c, Ч. Бхимани^d, К. А. Щелчков^c

^aРоссийский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия

^bИнститут общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

^cНИИ “Центр экологической промышленной политики”, Мытищи, Россия

^dBlue Oceans Foundation (Индия), Bhubaneswar, Россия

*e-mail: t.guseva@eipc.center

Поступила в редакцию 07.08.2022 г.

После доработки 12.08.2022 г.

Принята к публикации 15.08.2022 г.

Статья посвящена сравнительному анализу концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии и оценке возможности и целесообразности сближения этих концепций. Кратко изложена сущность эколого-технологической концепции наилучших доступных технологий, получившей широкое распространение и законодательное закрепление во многих странах мира. Показано, что наилучшие доступные технологии представляют собой инструмент повышения ресурсной эффективности производства и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Отмечено, что требования наилучших доступных технологий распространяются на все подотрасли химической промышленности. Рассмотрен практический пример определения наилучших доступных технологий для хлор-щелочного и целлюлозно-бумажного производств. Предложено учитывать принципы зеленой химии, направленные на предотвращение или снижение образования опасных веществ на протяжении жизненного цикла химической продукции, при определении наилучших доступных технологий для химической промышленности. Такое решение будет способствовать повышению эффективности технологического регулирования в сфере охраны окружающей среды. Выдвинуто предположение о том, что последовательное сближение концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии создаст условия для формирования зеленой химической технологии как области научного знания, а также для развития социально-экологической ответственности предприятий. Подчеркнуто, что обязательное соответствие требованиям наилучших доступных технологий как ключевой критерий оценки жизненного цикла продукции, экспертной оценки проектов устойчивого развития (в том числе зеленых проектов) и обоснования позиций экологического маркетинга позволит предотвратить распространение необоснованной информации при продвижении на рынок продукции различных отраслей промышленности.

Ключевые слова: наилучшие доступные технологии, химическая технология, ресурсная эффективность, зеленая химия, информационно-технические справочники, негативное воздействие на окружающую среду, экономика замкнутого цикла, таксономия зеленых проектов

DOI: 10.31857/S0040357122060124

ВВЕДЕНИЕ

Возможности повышения ресурсной и экологической эффективности промышленности неразрывно связаны с технологическими разработками. В химической технологии такими разработками заняты ведущие научные школы в России и за рубежом [1]. Многие исследователи сотрудничают с Российским Бюро наилучших доступных технологий (НДТ), координирующим создание информационно-технических справочников (ИТС) по НДТ – новых документов национальной системы стандартизации, устанавливаю-

щих требования к промышленным предприятиям для целей технологического нормирования, а также стимулирования российских предприятий к повышению ресурсной эффективности и модернизации технологических процессов [2]. Несмотря на то, что концепция НДТ известна уже более 50 лет, дискуссии об особенностях идентификации (в русскоязычных статьях – определения) наилучших доступных технологий, обязательности применения, ресурсной и экологической эффективности, вклада в формирование экономики замкнутого цикла и др. не утихают [2, 3].

О зеленой химии (или зеленой химической технологии) исследователи, руководители промышленности и представители органов власти рассуждают не меньше [4]; не оспаривается, пожалуй, только то, что зеленая химия – это разработка новых химических продуктов и процессов, направленных на исключение (или сокращение) образования и применения опасных веществ [5]. Цель данной статьи – это сравнительный анализ концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии и оценка возможности и целесообразности сближения этих концепций.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. УТОЧНЕНИЕ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА

Химическая технология и наилучшие доступные технологии. В соответствии с классическим определением, химическая технология – наука об экономически и экологически целесообразных методах и средствах химической переработки природных и вторичных ресурсов в продукты потребления и промежуточные продукты [6]. Химическая технология изучает процессы производства в химической, нефтехимической, металлургической, целлюлозно-бумажной, пищевой, текстильной, легкой и других отраслях промышленности.

Однако в обыденном сознании химическая промышленность нередко воспринимается как причина экологических проблем, возникающих в связи с производством и потреблением продукции этой отрасли экономики. При этом именно методы химической технологии позволяют повысить ресурсную и экологическую эффективность многих отраслей промышленности. В рамках химической технологии разрабатываются принципиально новые процессы, замкнутые по материальным и энергетическим потокам производственные циклы, методы снижения эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду. Химическая технология играет ключевую роль в формировании экономики замкнутого цикла, так как именно химико-технологические процессы позволяют обеспечить переработку и возврат вторичных ресурсов в производство [1, 7, 8]. Кроме того, без химической технологии невозможна ликвидация объектов накопленного экологического вреда, которые, в ряде случаев представляют собой промышленные площадки закрытых химических, нефтехимических и целлюлозно-бумажных предприятий.

Наилучшие доступные технологии (*Best Available Techniques*) – это совокупность экономически целесообразных технологических, технических и управленческих решений, обеспечивающих высокую ресурсную и экологическую эффективность производства [9]. То есть, речь идет не только об основных технологических решениях, но и

о технике защиты окружающей среды, а также о системах экологического и энергетического менеджмента [10].

Критерии отнесения технологий к наилучшим доступным, принятые на международном уровне, включают применение малоотходного способа производства; использование менее опасных химических веществ; обеспечение высокой ресурсной (в том числе энергетической) эффективности технологических процессов; минимизацию эмиссий (выбросов в воздух, сбросов загрязняющих веществ в водные объекты и отходов); организацию замкнутых потоков; рецикл веществ, возвращение вторичных ресурсов в производство там, где это возможно; минимизацию риска аварий. Подчеркнем, что при отнесении технологии к НДТ учитывается срок, который потребуется отрасли для внедрения технологии (технического решения) с учетом технических и экономических условий [11].

В России сведения об НДТ систематизируются в документах по стандартизации – информационно-технических справочниках (ИТС), которые разрабатываются при участии ведущих научно-исследовательских и образовательных учреждений и регулярно актуализируются с тем, чтобы обеспечить правоприменение ИТС НДТ для выдачи комплексных экологических разрешений (КЭР) и уточнить количественные характеристики потребления ресурсов и образования эмиссий [2]. Отметим, что 12 из 51 ИТС НДТ напрямую описывают технологические процессы, реализованные на предприятиях различных подотраслей химической промышленности, при этом химическим технологиям уделено значительное внимание и во многих других ИТС (по целлюлозно-бумажному производству, производству редких и редкоземельных металлов, легкой промышленности, белиению и крашению текстильных изделий и др.). В России, как и за рубежом, из всего многообразия проанализированных экспертами технологических процессов выделяются наилучшие доступные и перспективные технологии и определяются их количественные характеристики.

В Российской Федерации технологические показатели выбросов и сбросов загрязняющих веществ утверждаются постановлениями Правительства или приказами Министерства природных ресурсов и экологии; достижение этих показателей (то есть, соблюдение требований НДТ) обязательно для всех крупных предприятий Российской Федерации, осуществляющих деятельность в отраслях, которые отнесены к областям применения наилучших доступных технологий и обязаны получать КЭР [2].

Зеленая химия и зеленая химическая технология. Концепции зеленой химии и НДТ имеют общую основу – принцип предотвращения загряз-

нения в его источнике или предотвращения негативного воздействия на окружающую среду (НВОС), который в 1990-е годы в различных странах и регионах был использован при подготовке принципиально новых нормативных правовых актов. Новизна их состояла в том, что приоритетное внимание впервые было привлечено к разработке технологических процессов с высокой ресурсной и экологической эффективностью; при этом средозащитная техника не потеряла своей значимости, но была названа системой “вторичных” решений или решений “на конце трубы” (“*end-of-pipe*”), необходимых в тех случаях, когда основные процессы не могут обеспечить минимизацию НВОС [11]. Принцип предотвращения загрязнения, концепции НДТ и зеленой химии присутствуют также во многих международных конвенциях и в таксономиях зеленых проектов развития промышленности [12, 13].

Итак, зеленая химия – это разработка новых химических продуктов и процессов, направленных на исключение (или сокращение) образования и применения опасных веществ. Зеленая химия требует рассмотрения всего жизненного цикла химического продукта, от разработки, производства, использования до окончательного обезвреживания или размещения [5]. Прилагательное “зеленая” можно рассматривать как синоним понятия “исключающая использование или образование опасных веществ”, “дружественная по отношению к окружающей среде и человеку”.

Предложенные еще в 1990-е годы 12 принципов зеленой химии цитируют достаточно часто [14, 15]. Отметим, что они носят несколько публицистический характер, некоторые позиции повторяют друг друга. Ключевыми принципами следует считать предотвращение образования отходов; разработку методов синтеза химических веществ, позволяющих повысить полноту использования исходных компонентов (по образному выражению создателей концепции – “экономия атомов”) и минимизировать использование и (или) образование опасных веществ; создание химических продуктов с высокой эффективностью действия и малой токсичностью, а также продуктов, разлагаемых по окончании срока их использования; повышение энергоэффективности технологических процессов и применение возобновляемых ресурсов; предотвращение загрязнения и снижение риска аварий [5].

Эксперты Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) предложили расширить концепцию зеленой химии и дали определение химии для устойчивого развития как научной концепции, направленной на повышение эффективности использования природных ресурсов для удовлетворения потребностей человека в химических продуктах и услугах. Химия

для устойчивого развития охватывает разработку, производство и использование эффективных, безопасных и более экологичных (дружественных по отношению к окружающей среде) химических продуктов и процессов [16]. Отметим, что в обеих концепциях речь идет скорее о разработке и внедрении технологических решений и способов обращения с химическими веществами (продуктами, их содержащими), чем о химии – науке о веществах и законах превращений веществ.

Таким образом, сравнительный анализ концепций позволяет выдвинуть предположение о том, что принципы зеленой химии и химии для устойчивого развития следует рассматривать как детализацию принципов НДТ применительно к химической технологии с одновременным распространением требований повышения ресурсной и экологической эффективности на весь жизненный цикл химических продуктов. Но внимание зеленой химии сосредоточено на разработке новых продуктов и процессов (“*emerging*” в соответствии с международной терминологией или перспективных согласно терминологии ИТС НДТ), в то время как наилучшие доступные технологии должны быть технически и экономически доступными в настоящее время, готовыми для практического внедрения в промышленности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение наилучших доступных технологий для связанных между собой отраслей промышленности. Наилучшие доступные технологии определяются для областей применения НДТ техническими рабочими группами (ТРГ), в состав которых входят исследователи, практики, представители органов власти и общественных организаций. Это международно принятый подход. Различные ТРГ функционируют независимо друг от друга, хотя многие эксперты входят в состав нескольких ТРГ [11].

Рассмотрим порядок определения отраслевых НДТ. Эксперты проводят сравнительный анализ (бенчмаркинг) показателей ресурсной и экологической эффективности, достигнутых промышленными предприятиями, учитывают критерии, описанные в предыдущем разделе, и устанавливают технологические показатели НДТ таким образом, чтобы стимулировать поэтапную модернизацию отрасли [17]. В России работу ТРГ координирует Бюро НДТ, которое формирует проект ИТС и выносит его (как и предложенные значения технологических показателей) на публичное обсуждение [2, 11].

В Индии система регулирования на основе принципа предотвращения загрязнения включает имеющие обязательную юридическую силу нормативы эмиссий для каждой отрасли промышлен-

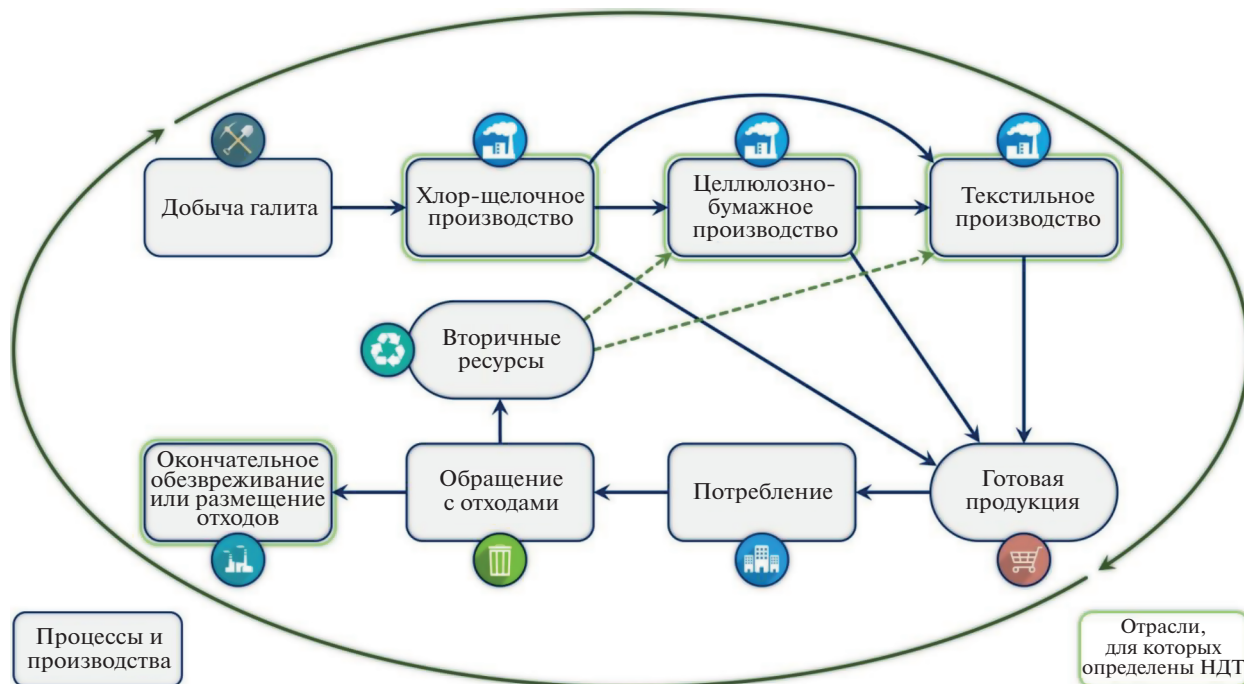


Рис. 1. Определение наилучших доступных технологий для связанных между собой областей применения наилучших доступных технологий.

ленности, оказывающей значительное воздействие на окружающую среду. Требования таких отраслевых норм должны достигаться с помощью решений, систематизированных в отраслевых руководствах, разработанных для многих подотраслей химической промышленности (включая производство хлора и щелочей), а также для целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности [11].

Если принять во внимание принципы зеленой химии, то при определении НДТ следует учитывать, какое сырье используется для производства целевого продукта, применялись ли при добыче сырья или его обогащении опасные вещества, а также оценивать возможности использования возобновляемых или вторичных ресурсов (рис. 1).

Например, анализируя целлюлозно-бумажное производство и определяя НДТ для стадии отбеливания целлюлозы [18], следует задаться вопросом, каким способом был получен хлор, используемый для отбеливания. Если проводится отбеливание гипохлоритом натрия, то в большинстве случаев NaOCl получают химическим методом, который заключается во взаимодействии газообразного хлора с гидроксидом натрия.

Таким образом, ориентируясь на принципы зеленой химии, при определении НДТ для целлюлозно-бумажной промышленности следует принимать во внимание, применялся ли электрохимический метод производства хлора и щелочей с ртутным катодом в цепочке технологических процессов, предшествующих процессу отбеливания

целлюлозы. Прецеденты есть: так, в международных справочниках и в российском ИТС 38-2017 к НДТ отнесен переход к использованию низкосернистого топлива при производстве энергии для минимизации выбросов в воздух диоксида серы [19]. Но это реализация принципа предотвращения загрязнения, в то время как учет “происхождения” применяемых в целлюлозно-бумажной или текстильной промышленности хлора и щелочей может создать условия для реализации принципа отказа от вовлечения опасных веществ в производственные циклы.

В Российской Федерации более трети гидроксида натрия производится ртутным способом, хотя постепенно возрастает доля предприятий, применяющих мембранный способ [20]. При этом в ряде международных справочников указано, что ртутный способ производства хлора и щелочей ни при каких условиях не может быть отнесен к НДТ, а в соответствии с Минаматской конвенцией о ртути, ее использование для этого производства должно быть прекращено в 2025 г. [12, 21]. Однако в Минаматской конвенции не установлены четкие требования к мероприятиям по ликвидации ртутного загрязнения в тех местах, где в течение многих лет функционировали предприятия, применявшие ртутный способ производства. В России некоторые промышленные площадки закрытых в 2000-е годы химических предприятий стали объектами накопленного экологического вреда, которые ликвидируются в настоящее время

мя в рамках выполнения федерального проекта “Чистая страна” [22]. Правительством также принято решение о том, что в 2022–2023 гг. должен быть разработан специальный ИТС 53 “Ликвидация объектов накопленного экологического вреда”. Таким образом, отказ от ртутного способа производства хлора и щелочей и внесение соответствующего положения в ИТС НДТ позволит предотвратить загрязнение окружающей среды, обусловленное функционированием ныне действующих предприятий, а также будет способствовать снижению риска аккумуляции соединений ртути в гидробионтах и консервативных средах (донных отложениях, почвах, грунтах) и образования объектов накопленного экологического вреда.

Наилучшие доступные технологии, экологические декларации и маркетинг зеленой продукции. Продолжая цепочку взаимосвязанных отраслей промышленности и ИТС НДТ (рис. 1), можно рассмотреть производство вискозного волокна. Это многостадийный процесс, в начале которого целлюлозу древесины хвойных пород обрабатывают концентрированным раствором щелочи (стадия мерсеризации). Поэтому для обоснования маркетингового по сути заявления об экологичности вискозного волокна, следует провести анализ жизненного цикла.

В соответствии с положениями международного стандарта ISO 14044, оценка жизненного цикла распространяется на экологические аспекты и потенциальные воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла продукции от приобретения сырья, производства и использования продукции до переработки по окончании ее срока службы, рециклинга и, наконец, окончательного обезвреживания или размещения (цикл “от колыбели до могилы”, “*from cradle to grave*”) [23]. То есть, для подготовки обоснованного заявления (экологической декларации) производители вискозного волокна и продукции из него должны учитывать особенности получения гидроксида натрия, используемого на стадии мерсеризации, а также сероуглерода, в котором растворяют суспензию целлюлозы с образованием ксантогената целлюлозы. Далее ксантогенат целлюлозы выдерживают в растворе гидроксида натрия до формирования вискозного вещества. Таким образом, процесс получения вискозы связан с обращением высокотоксичных веществ 2-го класса опасности.

Это не означает, однако, что “происхождение” гидроксида натрия необходимо детально обсуждать в разделе ИТС 39-2017 [24], содержащем описание технологического процесса мерсеризации волокна; достаточно уделить внимание принципу сокращения вовлечения в производственные циклы опасных веществ. Так, известно, что уже в

настоящее время используются технологии, позволяющие переработать древесную целлюлозу в производстве лиоцелла путем прямого растворения ее в растворителе – N-метилморфолин-N-оксиде (умеренно опасное вещество), который практически полностью регенерируется и не образует вредных продуктов распада.

В то же время, для продукции отраслей промышленности, отнесенных к областям применения НДТ, необходимо учитывать соответствие требованиям наилучших доступных технологий в качестве минимального, начального при подготовке экологической декларации или иных документов, направленных на продвижение этой продукции как зеленой, отличающейся от аналогичной большей ресурсной эффективностью производства и меньшим негативным воздействием на окружающую среду. На рис. 2 показано, что 6 из 12 принципов зеленой химии полностью реализуются в концепции НДТ. Этот вывод справедлив для всех областей применения НДТ и не нуждается в отраслевой привязке. Более того, “экономия атомов” или разработка методов синтеза химических веществ, позволяющих повысить полноту использования исходных компонентов, есть не что иное как повышение ресурсной эффективности технологических процессов. Остальные принципы также получают все большее распространение при разработке новых (перспективных) процессов и их применении на предприятиях многих стран мира.

Подчеркнем еще раз, что наилучшие доступные технологии должны быть технически и экономически доступными, готовыми для внедрения в промышленности. При актуализации справочников ТРГ внимательно анализируют описания перспективных технологий и придают им статус НДТ, если с момента опубликования ИТС собраны свидетельства практического применения и экономической целесообразности этих технологий.

В Российской Федерации с 2019 г. крупные предприятия ключевых отраслей промышленности обязаны получать комплексные экологические разрешения и достигать уровень экологической эффективности, установленный технологическими показателями НДТ [2]. Тем не менее, некоторые компании распространяют информацию об экологичности продукции, социально-экологической ответственности бизнеса (*Environmental Social Governance, ESG*), используя такие термины, как “инновационные зеленые технологии”, “зеленые решения”, “органические продукты” [25], и одновременно заявляют о чрезмерной жесткости требований НДТ и невозможности соответствия им. Это случаи зеленого камуфляжа (или гринвошинга). Так, в рейтинге *CDP (Carbon Disclosure Project)* достаточно высокие позиции занимают некоторые российские предприятия химиче-



Рис. 2. Взаимосвязь концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии.

ской и целлюлозно-бумажной промышленности, вынужденные разрабатывать программы повышения экологической эффективности (ППЭЭ) для достижения отраслевых требований НДТ в течение 7 лет. ППЭЭ – инструмент эколого-технологической модернизации и повышения ресурсной эффективности производства, и в реализацию таких программ инвестируются значительные средства. Но говорить о соответствии требованиям НДТ и уж тем более о достижении исключительных экологических результатов и выпуске зеленой продукции можно только по завершении реализации ППЭЭ.

Распространение практики экспертной оценки соответствия НДТ и развитие системы зеленого финансирования позволяет надеяться, что экологический маркетинг в России будет постепенно становиться наукой и искусством привлечения и удержания потребителей посредством создания новой, ресурсо- и экологически эффективной ценности и распространения обоснованной информации о ней (позиция сформулирована на основе определения маркетинга, данного Ф. Котлером [26]).

В 2021 г. российские исследователи предложили комплексный критерий оценки зеленых проектов [13, 27]:

$$K = K_1 \wedge K_2 \wedge K_3,$$

где K_1 – соответствие проекта приоритетным направлениям (областям применения НДТ) и достижение показателей экологической эффектив-

ности (технологических показателей); K_2 – достижение показателей ресурсной (в том числе энергетической) эффективности, установленным в ИТС НДТ; K_3 – свидетельства выполнения дополнительных требований (например, обусловленных международными обязательствами) и достижения существенного положительного экологического эффекта от реализации проекта.

Комплексный критерий K представляет собой предикат, который принимает истинное значение только в том случае, когда соблюдаются условия всех трех подкритериев – K_1 , K_2 и K_3 [13, 27]. Соответствие проекта критериям определяется путем экспертного оценивания с привлечением членов созданного в России в 2015 г. экспертного сообщества в области НДТ.

Указанный критерий был использован при разработке российской таксономии проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития [28]. Представляется, что учет принципов зеленой химии, например, отказ вовлечения опасных веществ в технологические процессы следует отнести к категории свидетельств выполнения дополнительных требований (K_3). Тогда проекты внедрения отбелки целлюлозы гипохлоритом, позволяющие сократить образование хлорорганических соединений и накопление их в донных отложениях водных объектов, принимающих очищенные сточные воды целлюлозно-бумажных комбинатов, можно будет рассматривать как зеленые. Один из таких проектов реализуется в насто-

ящее время в Сибирском федеральном округе. В настоящее время обсуждаются направления гармонизации подходов государств-членов БРИКС к созданию таксономий зеленых проектов с тем, чтобы учесть особенности ресурсного потенциала этих государств, национальные цели и приоритеты развития, а также возможности укрепления сотрудничества в научно-технической сфере.

Предложение учитывать принципы зеленой химии при определении НДТ и усиливать связи между различными ИТС согласуется также с международной тенденцией распространения концепции наилучших доступных технологий на всю цепочку создания стоимости. Такие подходы обсуждаются в настоящее время в рамках проекта ОЭСР, активное участие в котором принимают эксперты, представляющие десятки стран мира [29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сравнительного анализа концепций наилучших доступных технологий и зеленой химии позволяют сделать вывод о том, что они основаны на едином принципе предотвращения загрязнения окружающей среды. Обе концепции последовательно развиваются: формируются новые критерии отнесения технологий к НДТ или к перспективным решениям, уточняются формулировки принципов зеленой химии. Материалы ситуационного исследования, выполненного для взаимосвязанных производств хлора и щелочей, целлюлозно-бумажной и текстильной продукции, свидетельствуют о том, что принципы зеленой химии целесообразно рассматривать как детализацию принципов НДТ применительно к химической технологии с одновременным распространением требований повышения ресурсной и экологической эффективности на весь жизненный цикл химических продуктов. При этом, в соответствии с российскими и международными требованиями, наилучшие доступные технологии должны быть технически и экономически доступными, готовыми для практического внедрения в промышленности, в то время как внимание зеленой химии сосредоточено прежде всего на новых разработках и, тем самым, на создании перспективных технологий.

Последовательное сближение концепций НДТ и зеленой химии создаст условия для формирования зеленой химической технологии как области научного знания, а также и для развития социально-экологической ответственности предприятий. Обязательное соответствие требованиям наилучших доступных технологий как ключевой критерий оценки жизненного цикла продукции, экспертной оценки зеленых проектов и обоснования позиций экологического маркетинга позволит предотвратить распространение необоснованной информации при продвижении на

рынок продукции различных отраслей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meshalkin V.P., Dovi V.G., Bobkov V.I., Belyakov A.V., Butusov O.B., Garabadzhiu A.V., Burukhina T.F., Khodchenko S.M. State of the art and research development prospects of energy and resource-efficient environmentally safe chemical process systems engineering // *Mendelev Comm.* 2021. V. 31. P. 593.
2. Skobelev D. Building the infrastructure for transforming Russian industry towards better resource efficiency and environmental performance // *Procedia Env. Sci. Eng. & Man.* 2021. V. 8. № 2. P. 483.
3. Huybrechts D., Derden A., Van den Abeele L., Vander S., Smets B. Best available techniques and the value chain perspective // *J. Cl. Prod.* 2018. V. 174. P. 847.
4. Lempert R.J., Norling P., Pernin C.G., Resetar S.A., Mahnovski S. Next generation environmental technologies: benefits and barriers. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2003. URL: https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1682.html.
5. Anastas P.T., Warner J.C. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press, 1998.
6. Кулов Н.Н., Куменов А.М. Химическая технология // *Химическая энциклопедия*. М.: Большая российская энциклопедия, 1998. Т. 5. С. 467.
7. Gulyaev Y.V., Belgorodskii V.S., Kosheleva M.K. Review of Papers Presented at the “Second International Kosygin Readings: Energy- and Resource-Efficient Environmentally Safe Technologies and Equipment,” an International Scientific and Technical Symposium Celebrating the 100th Anniversary of the Kosygin State University of Russia // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2020. V. 54. № 3. P. 522. [Гуляев Ю.В., Белгородский В.С., Кошелева М.К. Обзор материалов симпозиума “Вторые международные Косыгинские чтения “Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование”, приуроченные к 100-летию РГУ им. А. Н. Косыгина” // *Теорет. основы хим. технологии*. 2020. Т. 54. № 3. С. 522.].
8. Кошелева М.К., Белгородский В.С., Кулов Н.Н. Аналитический обзор материалов международного научно-технического симпозиума “Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности”, посвященного 110-летию А.Н. Плановского // *Теорет. основы хим. технологии*. 2022. Т. 56(3). С. 267.
9. Almgren R., Skobelev D. Evolution of Technology and Technology Governance // *J. Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2020. V. 6. № 2. P. 22.
10. Tikhonova I., Guseva T., Averochkin E., Shchelchikov K. Best Available Techniques and Best Environmental Management Practices: Collaboration Between Industries and Regions // *Procedia Env. Sci., Eng., Man.* 2021. V. 8. № 2. P. 495.
11. Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution. Activity 2: Approaches to Establishing Best Available Techniques Around

- the World. Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD, 2018. URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/approaches-to-establishing-best-available-techniques-around-the-world.pdf>.
12. Скобелев Д.О., Микаэльссон О., Бхимани Ш. Наилучшие доступные технологии в условиях международных соглашений // Вестник Евразийской науки. 2020. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/20ECVN520.pdf>. <https://doi.org/10.15862/20ECVN520>.
 13. Скобелев Д.О., Волосатова А.А., Гусева Т.В., Панова С.В. Применение концепции наилучших доступных технологий в различных системах зеленого финансирования: международный опыт и перспективы использования в государствах-членах Евразийского экономического союза // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/36ECVN222.pdf>.
 14. Мирошник А.А., Филаткин П.В. Оценка направлений развития технического регулирования Евразийского экономического союза при формировании требований к безопасному обращению химической продукции с учетом принципов зеленой и устойчивой химии // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/55ECVN322.pdf>.
 15. Baron M. Towards a Greener Pharmacy by More Eco Design // Waste and Biomass Valorization. 2012. № 3(4). P. 395. DOI: S2CID 109584470. <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9146-2>
 16. The Role of Government Policy in Supporting the Adoption of Green / Sustainable Chemistry Innovations. OECD, 2012. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2012\)3&doclanguage=en](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2012)3&doclanguage=en).
 17. Мешалкин В.П., Шинкевич А.И., Малышева Т.В., Щелчков К.А., Рудомазин В.В. Методика выбора экологически устойчивых промышленных зон Татарстана для развития обрабатывающих производств // Экология и пром-ть России. 2022. Т. 24. № 4. С. 30.
 18. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 1-2015 “Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона”. Бюро НТД. Москва. 2015.
 19. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 38-2017 “Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии”. Бюро НТД. Москва. 2017.
 20. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 19-2020 “Производство твердых и других неорганических химических веществ”. Бюро НТД. Москва. 2020.
 21. Minamata Convention on Mercury. URL: <https://www.mercuryconvention.org/en>.
 22. Nikitina E., Makarova A., Meshalkin V., Chelnokov V., Matasov A., Avdeenkova T. Integrated Chemo-phytoecological Process for the Treatment of Polymetal Contamination in Landfill Sites and the Consequent Soil Recovery // Process Safety and Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers. Part B. 2021. № 152. P. 719.
 23. ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
 24. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 39-2017 “Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции)”. Бюро НТД. Москва. 2017.
 25. Захарова Т.В., Краковецкая И.В. Экологический маркетинг: помощь рынку, зеленая реклама и другие инструменты продвижения технологических инноваций в университетских городах мира и России // Вестник Томского гос. ун-та. Экономика. 2018. № 42. С. 231.
 26. Kotler Ph. Marketing Insights from A to Z. John Willey & Sons, 2003.
 27. Скобелев Д.О., Волосатова А.А. Разработка научно обоснования системы критериев зеленого финансирования проектов, направленных на технологическое обновление российской промышленности // Экон. уст. развития. 2021. № 1(45). С. 181.
 28. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 г. № 1587 “Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации”.
 29. Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution. Activity 5: Value Chain Approaches to Determining BAT for Industrial Installations. Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. 2022. URL: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/value-chain-approaches-to-determining-best-available-techniques-industrial-installations.pdf>.