Принципы перехода химической и смежных отраслей промышленности в постиндустриальный технологический уклад

А. Н. Цедилин¹, Д. А. Макаренков^{1,2,*}, М. Г. Беренгартен²

¹НИИЦ Курчатовский институт – ИРЕА, Москва, Россия

²Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация

В статье представлены принципы возможного перехода химической и смежных отраслей промышленности к постиндустриальному технологическому укладу. Объективной причиной перехода является техносферная деятельность индустриальных технологических укладов, нарушившая механизм планетарного экологического равновесия, вызвавшего цивилизационный кризис. Сохранить существующее равновесное состояние, обеспечивающее выживание человечества как биологического вида, возможно при экологическом принципе техносферного развития, подразумевающим обеспечение оптимальных условий жизнедеятельности человека, производство необходимой продукции и услуг для разумного цивилизационного развития в условиях устойчивого состояния биосферы. Задачей ядра нового технологического уклада, наряду с производством необходимой продукции и услуг, станет устойчивое развитие техно-биосферы. Несущие отрасли (в т.ч. химическая и смежные отрасли) должны формироваться в условиях доминирования жизнеобеспечивающих функций биосферы над ее материально-энергетическими ресурсами. Основным принципом перехода химической и смежных отраслей промышленности в постиндустриальный технологический уклад при традиционных физико-химических процессах должно стать внедрение природоподобных технологий на базе положений «зеленой химии» и принципов жизнеобеспечения биосферы, формирование техногенного материально-энергетического ресурса, по аналогии с природным. На переходной стадии необходима адаптация существующих химических и смежных производств к экологическим принципам техносферного развития и их доработка с возможным внедрением фотохимических технологий, фотобиологических процессов, жизнеобеспечивающих принципов.

Ключевые слова

техносфера, биосфера, технологический уклад, материально-энергетический ресурс, жизнеобеспечивающие функции, экологические принципы, природоподобные технологии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-013-00829\21 «Социальные и технико-экологические аспекты перехода к постиндустриальному укладу».

*Для переписки

Email address: makarenkovd@mail.ru

Введение. Выступая на заседании 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в Нью-Йорке 28 сентября 2015 года, президент РФ В. В. Путин сказал: «Нам нужны качественно иные подходы. Речь должна идти о внедрении принципиально новых природоподобных технологий, которые не наносят урон окружающему миру, а существуют с ним в гармонии и позволят восстановить нарушенный человеком баланс между биосферой и техносферой. Это действительно вызов планетарного масштаба» [1]. На заседаниях международного дискуссионного клуба «Валдай» 2020–2021 гг. было отмечено: «...природа крайне уязвима перед человеческой деятельностью. Особенно по мере того, как эксплуатация земных ресурсов приобретает все более масштабный, глобальный характер» [2]. «Климатические деформации и деградация окружающей среды столь очевидны ...что надо что-то делать» [3].

Данная экологическая позиция президента РФ В. В. Путина свидетельствует, что в глобальном развитии окружающего мира прослеживается раздвоение объективной планетарной реальности на развивающуюся техносферу и теряющую свою устойчивость биосферу. Дисбаланс между ними является одним из основных вызовов XXI в., реалии которого необходимо учитывать при развитии химической и смежных отраслей промышленности и переходе в постиндустриальный технологический уклад.

В рамках данной статьи рассматриваются возможные закономерности этого перехода.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения. Приняты допущения, что развитие химических и смежных отраслей промышленности осуществляется в рамках концепции технологических укладов [4] на базе ограниченных

материально-энергетических ресурсов биосферы.

Результаты. Экологический планетарный вызов является проявлением диалектического закона о единстве и борьбе противоположностей, где тождественные по сути противоположности (развивающаяся техносфера и теряющая свою устойчивость биосфера), вступают в результате внутреннего саморазвития в отношения полярности, взаимоотрицания друг друга, перерастающие в противоречия.

Процесс формирования противоречий между техносферой и биосферой осуществлялся в доиндустриальных и индустриальных технологических укладах — от несущественных до антагонистических. Причиной антагонизма явилась техносферная деятельность 4-5-го индустриальных технологических укладов [5], базирующаяся на экономическом принципе и доминировании эксплуатации материально-энергетических ресурсов биосферы над ее жизнеобеспечивающими функциями, нарушившая механизм биосферного развития.

Индустриальные технологические уклады [6-8], формирование которых началось во время первой промышленной революции 1770–1830 гг., это целостные и устойчивые техносферные образования, в рамках которых осуществляется замкнутый производственный цикл, начинающийся с добычи и получения первичных материально-энергетических ресурсов и заканчивающийся выпуском набора конечных продуктов с последующей их утилизацией. Структура технологических укладов (таблица 1) представляет собой: ядро технологического уклада; ключевые факторы; несущие отрасли.

Целью ядра индустриального технологического уклада является максимальный рост капитала, вложенного в ключевой фактор и несущие отрасли. Ключевой

фактор и несущие отрасли формируются в условиях доминирования эксплуатации материально-энергетических ресурсов биосферы над ее жизнеобеспечивающими функциями.

Таблица 1. Структура технологических укладов.

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УКЛАДА
Ядро технологического уклада — ведущие отрасли и виды деятельности, благодаря которым капитал имеет максимальный рост или обеспечивается планетарная экологическая безопасность.
Ключевые факторы — технологические нововведения, благодаря которым возникло ядро.
Несущие отрасли — отрасли, интенсивно потребляющие ключевой фактор, играющие ведущую роль в распространении нового технологического уклада.

В условиях ограниченности материально-энергетических планетарных ресурсов и взрывного роста народонаселения необходимо их соответствие производству и потреблению. Дисбаланс в конце 2021 г. привел к энергетическому кризису в странах ЕС.

Химическая и смежные отрасли, являющиеся несущими в индустриальных технологических укладах, используют, преимущественно, биосферные материально-энергетические ресурсы и экономически выгодные химические и физико-химические технологии их переработки. Подобный подход, наряду с увеличением производства продукции и услуг, приводит к загрязнению экосферы, препятствует реализации жизнеобеспечивающих функций биосферы, ограничивая возможности прогрессивного техно-биосферного развития окружающего мира.

Планетарный вызов XXI в., локальные материально-энергетические кризисы (энергетический, водный, продовольственный), пандемия Covid-19 реально показывают, что экономические принципы развития техносферы порождают деградацию био-экосферы и представляют угрозу человечеству как биологическому виду.

Попытки экологизации экономики [9-10], внедрение трендов «Четвёртой промышленной революции» [11] не в состоянии осуществить коренного преобразования задач ядра технологического уклада. Их следует рассматривать только как дальнейшее развитие существующих техно-биосферных противоречий в условиях киберфизических систем.

Сохранить сложившееся планетарное экологическое равновесие, учитывая общую биогенную тождественность техносферы — биосферы возможно при соблюдении экологического принципа техносферного развития, подразумевающего обеспечение оптимальных условий жизнедеятельности человека (в т.ч. и с учетом возможностей жизнеобеспечивающих функций техносферы), производство необходимой продукции и услуг для разумного цивилизационного развития в условиях устойчивого состояния биосферы.

Для этого необходимо осознать, что живое вещество биосферы — главное достояние Земли, способное увеличивать и накапливать действенные материально-энергетические ресурсы планеты [12] и осуществить переход к постиндустриальному технологическому укладу, задачей ядра которого станет, наряду с производством необходимой продукции и услуг, устойчивое развитие техно-биосферы. Несущие отрасли (в т.ч. химическая и смежные отрасли) должны формироваться в условиях доминирования жизнеобеспечивающих функций биосферы над ее материально-энергетическими ресурсами.

Выделяют пять важнейших жизнеобеспечивающих функций живого вещества биосферы [12], которые необходимо учитывать при формировании постиндустриального технологического уклада и развития химической и смежных отраслей промышленности:

- энергетическая функция выполняется за счет использования растениями энергии солнца в процессе фотосинтеза. Доступная энергия расходуется на собственные нужды организма, перераспределяется внутри экосистемы и биосферы, частично выводится из биогеохимического цикла и накапливается в литосфере, образуя ископаемый энергетический ресурс (торф, уголь, нефть и др.);
- газовая функция обуславливает миграцию газов и их превращения, обеспечивает газовый состав биосферы. В процессе функционирования живого вещества создаются основные планетарные газы — азот, кислород, углекислый газ, сероводород, метан и др.;
- концентрационная функция заключается в избирательном извлечении и накоплении живым веществом биогенных элементов из окружающей среды (витамины, аминокислоты, тяжелые металлы и др.);
- деструктивная функция состоит в разложении, минерализации мертвого вещества, в химическом разложении горных пород, вовлечении образовавшихся минералов в биотический круговорот. Специальная группа организмов деструкторов разлагает мертвое органическое вещество до простых неорганических соединений, которые затем вновь используются для материального круговорота;
- средообразующая функция заключается в преобразовании физико-химических параметров среды (литосферы, гидросферы, атмосферы) в условия,

максимально подходящие для существования живых организмов.

Наряду с жизнеобеспечивающими функциями необходимо отметить энтропийный критерий живого вещества (меру случайности или беспорядка системы). Живые организмы понижают собственную энтропию за счет повышения энтропии окружающей среды. Они имеют собственную энергию для жизни, а также обмениваются веществом и энергией с окружающей средой.

Ключевым фактором (технологическим нововведением) при переходе в постиндустриальный технологический уклад должны стать формируемые на экологическом принципе природоподобные технологии техносферного развития производства и потребления [13].

Под этим следует понимать коэволюционные разработки, базирующиеся на фундаментальных законах природы, киберфизических системах, конвергенционном и логистическом подходах, сохраняющие жизнеобеспечивающие функции биосферы и сложившиеся материальные и энергетические циклы планетарного кругооборота, обеспечивающие при производстве необходимой продукции и услуг поддержание устойчивого равновесия между биосферой и развивающейся техносферой.

В индустриальных технологических укладах химические и смежные отрасли промышленности развивались в рамках классической линейной экономики — производство, использование, утилизация. Утилизация производилась по экономическим принципам, приводящим к рассеиванию не возобновляемых материально-энергетических ресурсов. При переходе на экологический принцип развития в постиндустриальном технологическом укладе предполагается формирование цикличной экономики (circular economy) производства и

потребления, базирующейся на возобновляемых ресурсах.

В связи с этим основным принципом перехода химической и смежных отраслей промышленности в постиндустриальный технологический уклад при традиционных физико-химических процессах должны стать внедрение природоподобных технологий на базе положений «зеленой химии» (таблица 2) и жизнеобеспечивающих функций биосферы, формирование технологного материально-энергетического ресурса, по аналогии с природным.

Таблица 2 — Принципы «зеленой химии» [14]

Лучше предотвратить потери при производстве, чем перерабатывать и очищать отходы.
Методы синтеза необходимо выбирать так, чтобы все вещества, использованные в процессе, были максимально переработаны в конечный продукт.
Методы синтеза следует выбирать так, чтобы используемые и синтезируемые вещества были безвредными для человека и окружающей среды.
Создавая новую химическую продукцию, необходимо сохранить эффективность ранее созданной, но при этом уменьшить ее токсичность
Вспомогательные вещества при производстве, такие, как растворители или разделяющие агенты, лучше не использовать совсем, а если это невозможно, их использование должно быть безвредным.
Обязательно следует учитывать энергетические затраты и их влияние на окружающую среду и стоимость продукта. Синтез по возможности надо проводить при температурах, близких к температуре окружающей среды и при давлении, близком к атмосферному.
Исходные и расходуемые материалы должны быть возобновляемыми.
Необходимо избегать получения промежуточных продуктов.
Следует отдавать предпочтение каталитическим процессам (по возможности наиболее селективным).
Химическая продукция должна быть такой, чтобы после ее использования она не оставалась в окружающей среде, а полностью разлагалась на безопасные вещества.
Необходимо развивать аналитические методики, чтобы можно было следить в реальном времени за образованием опасных и вредных веществ.
Вещества и формы веществ, используемые в химических процессах, нужно выбирать таким образом, чтобы риск опасности, включая утечки, взрыв, пожар и пр. были минимальными.

На переходной стадии к постиндустриальному технологическому укладу необходима адаптация существующих химических и смежных производств к экологическим принципам техносферного развития и их доработка в соответствии с положениями «зеленой химии» [15] и принципами жизнеобеспечения биосферы. Возможно также внедрение фотохимических технологий [16], фотобиологических процессов, сверхкритической экстракции атмосферными газами (CO₂, N₂, H₂O) [17] и др.

Фотобиохимические процессы давно используются в химической и смежных отраслях. Учитывая экологический вызов XXI в., они могут применяться для декарбонизации существующих производств. Выбросы CO_2 направляют в биореакторы, наполненные водорослями, где в качестве материально-энергетического сырья используется техногенный диоксид углерода и солнечный свет. Водоросли характеризуются наиболее высоким КПД усвоения световой энергии по сравнению с другими фотосинтезирующими организмами. Продуктивность водорослей, особенно микроскопических, приближается к потенциально возможной [18].

Широкое применение в природоподобных технологиях может найти сверхкритический CO_2 ($T_{\text{кр}} = 31^\circ\text{C}$, $P_{\text{кр}} = 73,8$ атм.). Он не токсичен, не горюч, не взрывоопасен и доступен. В пищевой промышленности эта технология позволяет извлекать из растительного сырья различные вкусовые и ароматические компоненты. В фармацевтической промышленности выделяют биологически активные вещества, сохраняя неизменным их состав. Газообразный водород хорошо растворяется в сверхкритическом CO_2 , что позволяет непрерывно гидрировать органические соединения в среде флюида. Радиохимия использует эту технологию для решения экологических задач. Многие радиоактивные элементы в сверхкритической среде легко образуют комплексы с добавленными органическими соединениями — лигандами. Образующийся комплекс, в отличие от исходного соединения радиоактивного элемента, растворим во флюиде, и потому легко отделяется от основной массы вещества. Таким способом можно извлекать остатки радиоактивных элементов из отработанных руд, а также проводить дезактивацию почвы, зараженной радиоактивными отходами.

Для производства ароматизированного кофе используют технологии экстракции жидким азотом [19].

Вода в сверхкритическом состоянии ($T_{\text{кр}} = 374^\circ\text{C}$, $P_{\text{кр}} = 220$ атм.) растворяет практически все органические соединения, которые не разлагаются при высоких температурах. Такая вода при добавлении в нее кислорода становится мощной окислительной средой, разлагающей органические соединения до H_2O и CO_2 .

Базой для формирования техногенных материальных и энергетических ресурсов могут стать отходы различных видов [20–21]. Реализуемыми технологиями утилизации отходов являются полигонное хранение и термическая переработка. Их необходимо дополнить экологическими принципами с учетом фундаментальных основ техногенного и природного кругооборотов веществ и энергии.

Внедрение природоподобных технологий в полигонное хранение должно быть направлено на переход с хранения техногенных ресурсов на хранение компактированного техногенного сырья. Целью полигонного хранения должно стать формирование запасов техногенного сырья и цифровой логистической платформы для последующего их использования («Логистическая система управления природоподобного формирования техногенного сырья, его переработки в целевые продукты и создание платформы интеллектуальных баз данных о запасах промышленных отходов различных типов для химической и смежных отраслей промышленности»).

Особое значение при этом приобретают технологии сортировки, призванные осуществить классификацию отходов для термической переработки в качестве низкокалорийного топлива, вторичной переработки и хранения, как компактированного и сертифицированного техногенного сырья. В этих технологиях целесообразно

внедрять цифровизацию, роботизацию и искусственный интеллект.

Внедрение экологических принципов в технологии термической переработки должно быть направлено на создание энергетических производств, ориентированных на полное сжигание низкокалорийного топлива, с последующим связыванием продуктов горения для сохранения биогенного состава атмосферы (газовая функция биосферы). Здесь также возможно внедрение роботизации, цифровизации (как основы мониторинга процесса), искусственного интеллекта для управления процессом сжигания топлива различной калорийности.

Перспективные природоподобные технологии позволят при сохранении устойчивого равновесия между техносферой и биосферой снизить потребление природных материально-энергетических ресурсов и частично заменить их техногенными.

Обсуждение полученных результатов и сопоставление их с ранее известными. Представленные материалы показывают, что трансформация химической и смежных отраслей промышленности при переходе к постиндустриальному технологическому укладу должно осуществляться с учетом коэволюционных принципов формирования техносферы-биосферы, что соответствует трендам «Четвертой промышленной революции» и планетарным вызовам XXI в.

Заключение

При переходе химической и смежных отраслей промышленности на экологические принципы развития в постиндустриальном технологическом укладе предполагается формирование цикличной экономики (circular economy) производства и потребления, базирующейся на возобновляемых ресурсах.

Ключевым фактором развития химической и смежных отраслей

промышленности в постиндустриальном технологическом укладе могут стать природоподобные технологии, формируемые на принципах «зеленой» химии и функциях жизнеобеспечения биосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Полный текст выступления президента РФ Владимира Путина на пленарном заседании юбилейной, 70-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в Нью-Йорке 28 сентября 2015 года [Электронный ресурс]: URL: <https://rusprav.tv/rech-putina-v-onn-polnyj-tekst-55079/>
- [2]. Полный текст выступления Владимира Путина на заседании клуба "Валдай" 22.10.2020 г. [Электронный ресурс]: URL: <https://zely.ru/v-rossii/149391-polnyy-tekst-vystupleniya-vladimira-putina-na-zasedanii-kluba-valday.html>
- [3]. Полный текст выступления Владимира Путина на заседании клуба "Валдай" 21.10.2021 г. [Электронный ресурс]: URL: <https://tehnovar.ru/295355-Vystuplenie-Vladimira-Putina-na%20%A0zasedanii-Valdayskogo-kluba-tekst.html>
- [4]. Глазьев С. Ю. Мирохозяйственные уклады в глобальном экономическом развитии. Экономика и математические методы. 2016. №2. С.3–29.
- [5]. Систер В.Г., Цедилин А.Н. Постиндустриальный технологический уклад как основа глобального устойчивого развития. Сборник тезисов участников Международного научного конгресса «Глобалистика 2020: Глобальные проблемы и будущее человечества». 2020. С. 82–83.
- [6]. Кондратьев К. Я. Современное общество потребления и его экологические ограничения. Энергия. 2005. № 10. С. 60-66.

- [7]. Яковец Ю.В. Глобальные экономические трансформации XXI века. М., Экономика, 2011, 382 с.
- [8]. Карлота Перес. Технологическая революция и финансовый капитал. Динамика пузырей и периодов процветания. М., Дело, 2011. 231 с.
- [9]. Егорова М. С., Глик П. А. Экологизация экономики и «зелёный рост». Успехи современного естествознания. 2014. № 11. С. 77–80.
- [10]. Чхутиашвили, Л. В. Экологизация российской экономики как важный фактор роста конкурентоспособности производства и продукции. Вестник университета имени О. Е. Кутафина (МГЮА). 2016. № 4 (20). С. 124–129.
- [11]. Клаус Шваб. Четвертая промышленная революция — «Эксмо», 2016, 320 с.
- [12]. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. М., Наука, 1989, 264 с.
- [13]. Макаренков Д. А., Цедилин А. Н. Природоподобные технологии в рациональном природопользовании. Современные проблемы экологии: доклады XXVI всерос. науч.-практич. конференции. Тула: Инновационные технологии. 2021. С. 26–28.
- [14]. P. T. Anastas, J. C. Warner. Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 1998, 30 p.
- [15]. Систер В. Г., Покровский Д. Д., Цедилин А. Н. Техничко-экологические аспекты разработки природоподобных технологий постиндустриального технологического уклада. Альтернативная энергетика и экология. 2020. № 25–27. С.147–154.
- [16]. Уэйн Р. Основы и применение фотохимии. М., Мир, 1991. 304 с.
- [17]. Гумеров Ф., Яруллин Р. Сверхкритические флюиды и СКФ-технологии. - The Chemical Journal / Химический журнал. 2008. 10. С. 26–30.
- [18]. Корягин В.В. Процессы и аппараты для микробиологических производств. Биотехника-86. М., 1986. С. 10–11.
- [19]. Степанов Д. Е., Татарченко И. И. Способ производства ароматизированного кофе. Известия вузов. Пищевая технология. 2009. №2–3. С.121-122.
- [20]. Хованская Г. П., Систер В. Г. Цедилин А. Н. Проект «Национальная стратегия внедрения энергоэффективных ресурсосберегающих и экологически безопасных (зеленых) технологий и производств в строительство и жилищно-коммунальное хозяйство». Эффективные технологии утилизации отходов. 2014. №1. С. 10–14.
- [21]. Систер В. Г., Цедилин А. Н. Экологически чистые решения утилизации ТКО. XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Т. 3: тез. докл. Санкт-Петербург. 2019. с. 244

Цедилин Андрей Николаевич — канд. техн. наук, исполнитель гранта РФФИ № 20-013-00829\21 «Социальные и технико-экологические аспекты перехода к постиндустриальному укладу», НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский Вал, д. 3).

Макаренков Дмитрий Анатольевич — д-р техн. наук, доцент, заместитель директора по науке, НИЦ «Курчатовский институт» — ИРЕА (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский Вал, д. 3), доцент кафедры «Процессы и аппараты химических технологий» Московского политехнического университета (Российская Федерация, 107023, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38).

Беренгартен Михаил Георгиевич — канд. хим. наук, профессор, и. о. зав. кафедрой «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств им. проф. М. Б. Генералова» Московского политехнического университета (Российская Федерация, 107023, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38).

Principles of the transition of the chemical and related industries to the post-industrial technological order

A. N. Tsedilin¹, D. A. Makarenkov^{1,*}, M. G. Berengarten²

¹*National Research Center "Kurchatov Institute" – IREA, Moscow, Russia*

²*Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*

Abstract

The article presents the principles of a possible transition of the chemical and related industries to a post-industrial technological order. The objective reason for the transition is the technosphere activity of industrial technological order, which violated the mechanism of planetary ecological balance, which caused a civilization crisis. It is possible to preserve the existing equilibrium state, which ensures the survival of mankind as a biological species, with the ecological principle of technosphere development, which implies the provision of optimal conditions for human life, the production of the necessary products and services for a reasonable civilizational development in a stable state of the biosphere. The task of the core of the new technological order will be the sustainable development of the techno-biosphere along with the production of the necessary products and services. The supporting industries (including the chemical and related industries) should be formed under the conditions of the dominance of the life-supporting functions of the biosphere over its material and energy resources. The main principle of the transition of the chemical and related industries to the post-industrial technological order in traditional physical and chemical processes should be the introduction of nature-like technologies based on the provisions of "green chemistry" and the principles of life support of the biosphere, the formation of a technogenic material and energy resource, by analogy with natural. At the transitional stage, it is necessary to adapt existing chemical and related industries to the ecological principles of technosphere development and to refine them with the possible introduction of photochemical technologies, photobiological processes, life-supporting principles.

Keywords

technosphere, biosphere, technological order, material and energy resource, life-supporting functions, environmental principles, nature-like technologies

**Corresponding author*

E-mail: makarenkovd@mail.ru

REFERENCES

- [1]. Polnyi tekst vystupleniya prezidenta RF Vladimira Putina na plenarnom zasedanii yubileinoi, 70-i sessii General'noi Assamblei OON v N'yu-Iorke 28 sentyabrya 2015 goda [Full text of the speech of the President of the Russian Federation Vladimir Putin at the plenary session of the 70th session of the UN session in New York on September 28, 2015]. URL: <https://rusprav.tv/rech-putina-v-on-polnyj-tekst-55079/> (In Russ.)
- [2]. Polnyi tekst vystupleniya Vladimira Putina na zasedanii kluba "Valdai" 22.10.2020 g [Full text of Vladimir Putin's speech at the meeting of the Valdai Club on October 22, 2020]. URL: <https://zeln.ru/v-rossii/149391-polnyy-tekst-vystupleniya-vladimira-putina-na-zasedanii-kluba-valday.html> (In Russ.)
- [3]. Polnyi tekst vystupleniya Vladimira Putina na zasedanii kluba "Valdai" 21.10.2021 g [Full text of Vladimir Putin's speech at the meeting of the Valdai Club on October 21, 2021]. URL: <https://tehnovar.ru/295355-Vystuplenie-Vladimira-Putina-na%C2%A0zasedanii-Valdayskogo-kluba-tekst.html> (In Russ.)
- [4]. Glaziev S.Yu. Mirokhoziaistvennye układy v global'nom ekonomicheskom razvitii [National economy structures in the global economic development]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods Publ.] no. 2, 2016, pp.3-29. (In Russ.)
- [5]. Sister V. G., Tsedilin A.N. Postindustrial'nyi tekhnologicheskii uklad kak osnova global'nogo ustoichivogo razvitiya [Post-industrial technological structure as a global sustainable development basis]. *Sbornik tezisev uchastnikov Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa «Globalistika 2020: Global'nye problemy i budushchee chelovechestva»* [Globalistics-2020: Global issues and the future of humankind: collection of articles of the international scientific congress]. pp. 82-83. (In Russ.)
- [6]. Kondrat'ev K. Ya. Sovremennoe obshchestvo potrebleniya i ego ekologicheskie ogranicheniya [Modern consumer society and its environmental restrictions] // *Energiya* [Energy Publ.]. 2005. no. 10. pp. 60-66. (In Russ.)
- [7]. Yakovets Yu.V. Global'nye ekonomicheskie transformatsii XXI veka [Global economic transformations of the XXI century]. Moscow. *Ekonomika* Publ. 2011. 382 p. (In Russ.)
- [8]. Carlota Perez. Tekhnologicheskaya revoliutsiya i finansovyi kapital. Dinamika puzyrei i periodov protsvetaniya [Technological Revolutions and Financial Capital Cheltenham]. Moscow. *Delo* Publ. 2011. 231 p. (In Russ.)
- [9]. Egorova M. S., Glik P. A. Ekologizatsiya ekonomiki i «zelenyi rost» [Greening the economy and “green growth”] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [The successes of modern natural science]. – 2014. – no. 11. – pp. 77-80. (In Russ.)

- [10]. Chkhutiashvili L. V. Ekologizatsiia Rossiiskoi ekonomiki kak vazhnyi faktor rosta konkurentosposobnosti proizvodstva i produktsii [Greening of the Russian economy as an important factor of production and competitiveness of production growth] // Vestnik universiteta imeni O. E. Kutafina (MGYuA) [Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL)]. – 2016. – no. 4 (20). – pp. 124-129. (In Russ)
- [11]. Schwab, Klaus. Chetvertaia promyshlennaia revoliutsiya [The fourth industrial revolution] – Eksmo Publ., 2016 — 320 p. (In Russ.)
- [12]. Vernadskii V.I. Biosfera i noosfera [Biosphere and noosphere]. Moscow. Nauka Publ., 1989. - 264 p. (In Russ.)
- [13]. Makarenkov, D.A., Tsedilin A.N. Prirodopodobnye tekhnologii v ratsional'nom prirodopol'zovanii [Nature-like technologies in the rational use of natural resources]. Sovremennye problemy ekologii: doklady XXVI vseros. nauch.-praktich. Konferentsii [Contemporary problems of ecology: reports of the XXII international scientific-practical conference]. – Tula: Innovatsionnye tekhnologii Publ., 2021, p. 26-28. (in Russ)
- [14]. P.T. Anastas, J.C. Warner, Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 1998, p.30
- [15]. Sister V.G, Pokrovsky D.D., Tsedilin A.N. Tekhniko-ekologicheskie aspekty razrabotki prirodopodobnykh tekhnologii postindustrial'nogo tekhnologicheskogo uklada [Technical and environmental aspects of the development of natural-like technologies of the post-industrial technological order]. - Al'ternativnaia energetika i ekologiya [International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology], 2020, no. 25-27, pp.147-154. (In Russ)
- [16]. Richard P. Wayne. Osnovy i primeneniye fotokhimii [Principles and applications of photochemistry]. Moscow, Mir Publ., 1991. 304 p.
- [17]. Gumerov F., Yarullin R. Sverkhkriticheskie fluידы i SKF-tekhnologii [Super critical fluids and SCF- technologies]. - Khimicheskii zhurnal [The Chemical Journal], 2008, 10, pp. 26-30.
- [18]. Koryagin B.B. Protsessy i apparaty dlya mikrobiologicheskikh proizvodstv. Biotekhnika-86 [Processes and apparatus for microbiological production. Biotechnics-86]. Moscow, 1986. pp. 10-11. (In Russ)
- [19]. Stepanov D.E., Tatarchenko I.I. Sposob proizvodstva aromatizirovannogo kofe [Method for the production of flavored coffee]. — Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiya [News of institutes of higher education. Food technology], 2009, no.2-3, pp. 121–122. (In Russ)
- [20]. Khovanskaya G. P., Sister V.G. Tsedilin A.N. Proekt «Natsional'naya strategiya vnedreniya energoeffektivnykh resursosberegaiushchikh i ekologicheskii bezopasnykh (zelenykh) tekhnologii i proizvodstv v stroitel'stvo i zhilishchno-kommunal'noe khoziaistvo» [The project “National strategy for the introduction of energy-efficient, resource-saving and environmentally friendly (green) technologies and industries in construction and housing and communal services”]. - Effektivnye tekhnologii utilizatsii otkhodov [Effective waste disposal technologies], no.1, 2014 pp. 10–14.
- [21]. Sister V.G., Tsedilin A.N. Ekologicheskii chistye resheniya utilizatsii TKO [Environmentally friendly solutions for the disposal of MSW] - XXI Mendeleevskii s"ezd po obshchei i prikladnoi khimii. V 6 t., T. 3: tez. dokl. [XXI Mendeleev congress on general and applied chemistry. In 6. Vol. 3: abstracts of the reports] – St. Petersburg, 2019, p. 244. (In Russ).

Tsedilin A. N. — Cand. Sc. (Eng.), executor of the RFBR grant No. 20-013-00829 \ 21 “Social and technical and environmental aspects of the transition to a post-industrial structure” (Bogorodsky Val., 3, Moscow, 107076, Russian Federation).

Makarenkov D. A. — Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Deputy Director for Science, NRC “Kurchatov Institute” — IREA (Bogorodsky Val., 3, Moscow, 107076, Russian Federation), Assoc. Professor, Department “Processes and Apparatus of Chemical Technologies”, Moscow Polytechnic University (B. Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russian Federation).

Berengarten M. G. — Cand. Sc. (Chem.), Professor, Acting head of Department of “Hardware design and automation of technological production named after prof. M. B. Generalov”, Moscow Polytechnic University (B. Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Принципы перехода химической и смежных отраслей промышленности в постиндустриальный технологический уклад / А. Н. Цедилин, Д. А. Макаренко, М. Г. Беренгартен // Промышленные процессы и технологии. 2021. № 1. С. 23 – 34

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-2-23-34

Please cite this article as:

Tsedilin A. N., Makarenkov D. A., Berengarten M. G. Principles of the transition of the chemical and related industries to the post-industrial technological order. Industrial processes and Technologies, 2021, no. 1, pp. 23 – 34

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-2-23-34