



ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА И СТРАТЕГИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

**О. В. АВДЕЙЧИК, В. А. СТРУК,
Л. Н. НЕХОРОШЕВА, А. С. АНТОНОВ**

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР СТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКИ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Рассмотрены направления реализации концепта устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь. Показано, что для снижения материалоемкости продукции необходимы специальное технологическое воздействие на остаточные продукты (отходы) процесса производства и рециклинг амортизированных изделий с целью возвращения в промышленность полноценных материальных и энергетических ресурсов. Разработана функциональная связь элементов замкнутого цикла, позволяющая реализовать концепт устойчивого социально-экономического развития. Предложено создание кластерных структур научных, образовательных и производственных организаций и учреждений с целью активизации научно-исследовательской деятельности.

Ключевые слова: устойчивое социально-экономическое развитие; замкнутый технологический цикл; специальное технологическое воздействие; алгоритм реализации замкнутого цикла; кластерные структуры.

УДК 001.895:338.45:626

Ольга Васильевна АВДЕЙЧИК (ol_avd.78@mail.ru), кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и экономического анализа Гродненского государственного аграрного университета (г. Гродно, Беларусь);

Василий Александрович СТРУК (struk@grsu.by), доктор технических наук, профессор, профессор кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (г. Гродно, Беларусь);

Людмила Николаевна НЕХОРОШЕВА (kepp@bseu.by), доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономики промышленных предприятий Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Беларусь);

Александр Сергеевич АНТОНОВ (antonov_as@grsu.by), кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (г. Гродно, Беларусь).

Введение. Экономическое функционирование Республики Беларусь осуществляется в соответствии с государственной стратегией устойчивого социально-экономического развития до 2035 г. [1]. Эта стратегия базируется на экономической, социальной и экологической составляющих. Особое значение имеет экологическая составляющая, так как концепт устойчивого развития основан на снижении неблагоприятного техногенного воздействия на компоненты окружающей среды и сохранение природных составляющих для будущих поколений. Это определяет развитие энерго-, материалосберегающих технологий в промышленном производстве для уменьшения количества технологических остаточных продуктов, определяемых как «отходы производства», в целях обеспечения концепта устойчивого развития.

В работе [2] отмечено, что «... актуальной является проблема высокой энерго- и материалоемкого производства, что свидетельствует о необходимом ресурсосберегающем преобразовании взаимодействий субъектов народного хозяйства» [2, с. 75]. Авторы считают, что модель функционирования экономики замкнутого цикла подразумевает «... функционирование экономических субъектов, основанное на использовании продуктов потребления, услуг и ведении хозяйственной деятельности таким образом, чтобы материалы и энергия одной подсистемы переходили в ресурсы другой части системы» [2, с. 75]. При правильном трактовании концепта замкнутого цикла необходимо отметить, что переход «материалов и энергии из одной подсистемы» ... в «ресурсы другой части системы» невозможен без разработки адекватных технологий реализации этого перехода, а реализация замкнутого цикла должна осуществляться прежде всего на самом предприятии, а не только способствовать тому, чтобы материальные и энергетические ресурсы переходили на «другую часть системы».

Цель настоящего исследования состоит в оценке механизмов реализации концепта устойчивого социально-экономического развития в хозяйственной деятельности Республики Беларусь.

Результаты и обсуждение. При реализации основных требований концепта устойчивого социально-экономического развития основным направлением совершенствования хозяйственной деятельности считается создание технологий, обеспечивающих функционирование промышленных предприятий по замкнутому циклу. Задача реализации концепта замкнутого цикла состоит прежде всего в создании технологий получения товарной продукции с минимальными материальными и энергетическими затратами на субъекте хозяйствования с применением специальных технологий использованием остаточных материальных и энергетических компонентов в собственном производстве. Замкнутый цикл будет сформирован только при использовании специальных технологий воздействия на остаточные продукты, что позволит их вернуть в сферу производства и использовать для получения полноценных товаров. Примером такого замкнутого цикла может служить технология изготовления функциональных изделий из полимерных и композиционных материалов на современных литьевых машинах, предполагающих использование материалов литниковых систем в качестве компонента основного материала, из которого изготавливают изделие. При этом избыточная энергия, выделяемая в процессе литья, используется во время термической обработки (сушки) гранулированного сырья для достижения заданного влагосодержания.

При расширенном трактовании концепта замкнутого цикла остаточные материальные и энергетические продукты, не использованные на конкретном субъекте хозяйствования и являющиеся результатом использования несовершенных технологий, могут быть применены в основном производстве другого субъекта. При этом необходимо использование технологий рециклинга остаточных продуктов, позволяющих адаптировать их к действующему производству.

В работе [2] авторы указывают, что «... в экономической деятельности, обладающей устойчивостью, с движением материалов и энергии по кругу стирается понятие отходов и акцент смещается с уменьшением количества образующих коммунальных и производственных отходов с отрицательным воздействием на повышение качества производимых изделий и услуг для обеспечения положительного влияния при циклическом переходе на следующий этап промышленного производства» [2, с. 76]. Однако необходимо подчеркнуть, что экономическая деятельность с «движением материалов и энергии по кругу» в настоящее время отсутствует в промышленном производстве, так как даже в идеальном случае полностью восстановить затраты энергии и материалов невозможно вследствие отсутствия технологий, позволяющих получать материалы с исходными характеристиками при многократной переработке. Часть энергии безвозвратно теряется в ходе технологического процесса и ее «движение ... по кругу» невозможно. Утверждение о том, что «... в экономической деятельности, обладающей устойчивостью, ... стирается понятие отходы», некорректно по существу, так как понятие «отходы», по нашему мнению, носит искусственный характер и является результатом несовершенства используемых технологий и материальных полуфабрикатов, формирующих условия для образования неиспользованных материальных и энергетических компонентов. Образующиеся неиспользованные (остаточные) материальные и энергетические компоненты по своему составу и параметрам характеристик не отличаются от исходных компонентов. В связи с этим для их характеристики обоснованно использовать термин «остаточные продукты», изменив терминологию в нормативных документах, характеризующих процессы получения изделий различного функционального назначения.

Остаточные материальные и энергетические продукты в ходе реализации технологических процессов получения изделий с заданными параметрами потребительских характеристик независимо от технологии образуются в большей или меньшей степени всегда; в настоящее время отсутствуют иные технологии получения изделий без образования остаточных продуктов. В последние десятилетия рядом исследователей активно обсуждается возможность получения изделий путем направленного использования молекулярных и атомарных субстанций, что позволяет реализовать безотходные технологии [3; 4]. Однако процесс получения таких атомарных и молекулярных составляющих связан с образованием огромного количества остаточных материалов и использовать его можно только в исключительных случаях при формировании элементов нано- и микротехники, молекулярной биологии и в других подобных приложениях. Получение изделий различного функционального назначения с определенными геометрическими размерами в настоящее время невозможно из-за технологической неопределенности процесса.

В «экономической деятельности, обладающей устойчивостью», «акцент смещается» не в связи с «уменьшением количества образующих коммунальных и производственных отходов», а в связи с разработкой современных технологий изготовления изделий с заданными параметрами функциональных характеристик с минимальным количеством остаточных продуктов и оптимизированной затратой энергии и технологий рециклинга амортизированных изделий в полноценные продукты, пригодные для использования в качестве сырьевых материалов на собственном производстве и при реализации их третьей стороне. Необходимо отметить, что количество «коммунальных отходов» резко увеличивается при практическом отсутствии современных технологий рециклинга, позволяющих получать материалы с заданными параметрами эксплуатационных характеристик. Например, в Беларуси значительная часть предприятий по рециклингу амортизированных изделий из металлических и полимерных материалов производит материальные субстанции (регенери-

рованные материалы), отличающиеся от первичных по составу, параметрам характеристик, цвету и другим показателям, поэтому переход к «экономической деятельности, обладающей устойчивостью», базируется на разработке современных энерго- и ресурсосберегающих технологий производства функциональных изделий и технологий рециклинга, обеспечивающих принципиально новые параметры регенерированных продуктов. Подобный переход может быть реализован при создании «экологизированных производств» [5] на базе современных достижений в области материаловедения, технологии материалов, базирующихся на создании системы интеллектуального обеспечения инновационной деятельности промышленных предприятий (СИОИД ПП), основанной на кластерном объединении интеллектуальных ресурсов научных, образовательных и производственных организаций и учреждений.

В работе [2] считают, что «... формирование устойчивого развития основывается на удовлетворении потребностей нынешнего поколения без ущерба для возможности реализации достойной жизнедеятельности будущих поколений» [2, с. 76]. На наш взгляд, ключевым моментом в «удовлетворении потребностей нового поколения» является определение объема этих потребностей, так как современная эгоцентристская политика направлена на максимальное удовлетворение потребностей с неопределенным диапазоном [6]. В результате этого огромное количество товарной продукции не используется потребителями вообще или используется крайне ограниченно. Современные технологии товарного производства ориентированы на непрерывный выпуск продукции без учета возможности потребления. На это расходуется значительная часть материальных и энергетических ресурсов, имеющих в распоряжении человечества. Очевидно, что «формирование потребностей нового поколения» является не только экономической, но и в большей степени социальной (нравственной) проблемой, включающей процессы образования и воспитания личности, которая адекватно оценивает свою роль в функционировании социумов и потребляет материальные и энергетические ресурсы, товары, услуги в разумных пределах. Развитие нравственного компонента в формировании личности обеспечит реализацию концепта «разумного потребления», который снизит негативную техногенную нагрузку на окружающую среду и обеспечит функционирование экономической и социальной систем в течение длительного периода без ущерба для «достойной жизнедеятельности будущих поколений» [6].

Анализ предпосылок формирования устойчивой социально-экономической системы в Республике Беларусь [7–11] показывает, что традиционные разработки с использованием остаточных продуктов производства и потребления товарной продукции были направлены на утилизацию амортизированных изделий в виде бумажных, тканевых и металлических материалов [12]. В годы Советского государства эта традиция была продолжена. Вместе с тем интенсивно развивалась научно-исследовательская составляющая в виде научно-исследовательских учреждений, специализирующихся «в области технологий заготовки, обработки и переработки вторичного сырья» [13]. Было сформировано более 750 производственно-заготовительных и перерабатывающих предприятий по изготовлению из вторичного сырья или с частичным использованием различной продукции производственного назначения [2].

В Республике Беларусь принят ряд документов по реализации стратегии обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) и отходами производства и вторичными материальными ресурсами (ВМР) [14–22]. Анализ содержания нормативных правовых документов в области становления экономики устойчивого социально-экономического развития свидетельствует о существенных недостатках в этой области. Преимущественное внимание уделено процессам сбора и сортировки ТКО и заготовки ВМР.

В работе [2] авторы указывают, что «несмотря на то что современное управление отходами предусматривает их образование и минимизацию потоков, в Беларуси данная концепция пока еще не получила практического развития» [2, с. 78]. В промышленном секторе Республики Беларусь образуется ежегодно свыше 60 млн т отходов (остаточных продуктов) производства функциональных изделий. При этом значительную часть остаточных продуктов составляют галитовые глинистые продукты, образующиеся при получении калийных удобрений и фосфогипса, образующегося при производстве фосфорных удобрений (соответственно 42,28 млн т и 918,13 тыс. т [2]).

В год сбор основных отходов (остаточных продуктов) промышленного производства (отходы бумаги, картона, стекла, шин, отработанные масла, электронные отходы) составляет около 800 тыс. т [2]. В настоящее время в хозяйственном комплексе Республики Беларусь функционирует 429 организаций жилищно-коммунального хозяйства, потребительской кооперации, организаций ОАО «Белресурсы», занимающихся сбором вторичных материальных ресурсов (ВМР) [2]. Однако практический опыт хозяйственной деятельности промышленных предприятий Республики Беларусь и жилищно-коммунального хозяйства свидетельствует о постоянном росте количества остаточных продуктов, которые не подвергаются интенсивному рециклингу и подлежат захоронению или сжиганию. Подобная практика усугубляет негативную ситуацию с неблагоприятным действием промышленных и бытовых остаточных продуктов на компоненты окружающей среды, усиливая проявление неблагоприятных процессов по ее загрязнению и изменению климата. Это приводит к существенному замедлению реализации концепта устойчивого социально-экономического развития Республике Беларусь и увеличению вероятности наступления экологического коллапса, приводящего к необходимости обеспечения комфортной и безопасной жизнедеятельности последующих поколений. Очевидно, что государственная стратегия устойчивого социально-экономического развития должна учитывать складывающуюся негативную ситуацию с реализацией экологического императива.

Существенное значение в реализации концепта устойчивого социально-экономического развития Республике Беларусь имеет интеллектуальный потенциал, сформировавшийся в различных отраслях промышленного производства, сферы управления, в научных и образовательных учреждениях и организациях. Активизация научно-исследовательских работ в области создания малоотходных и низкоэнергоёмких технологий производства функциональной продукции и высокоэффективных технологий рециклинга остаточных продуктов промышленного производства и амортизированных изделий различного назначения позволит разработать научную базу для воплощения требований концепта устойчивого социально-экономического развития.

Проблема реализации требований концепта устойчивого социально-экономического развития многоаспектна и основана не только на разработке отечественных технологий получения функциональной продукции с высокими потребительскими характеристиками и конкурентоспособностью при реализации требований оптимальной материало- и энергоёмкости, но и разработке отечественных высокоэффективных технологий переработки остаточных материальных и энергетических компонентов, образующихся при основном процессе, и современных технологий и производственного оборудования по рециклингу амортизированных изделий в материальные продукты, пригодные для изготовления функциональных изделий. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что значительная часть промышленных предприятий применяет технологии и оборудование, относящиеся к III и IV технологическим укладам, при использовании которых образование значительного количества остаточных материалов и энергетических ресурсов неизбежна.

Промышленные предприятия, специализирующиеся в области рециклинга амортизированных изделий, не обладают отечественной технологической базой и оборудованием, поэтому требуется значительный временной промежуток для разработки современного технологического оборудования с целью эффективного рециклинга амортизированной продукции. Особенно важным этот аспект является для предприятий, специализирующихся на рециклинге амортизированных изделий из полимерных материалов и композиций на их основе. В последние годы использование полимерных и композиционных материалов для изготовления изделий различного функционального назначения многократно увеличилось в производстве пищевой продукции, товаров бытовой химии, производстве смазок, моторных и специальных масел, при изготовлении компонентов, используемых в сельскохозяйственном производстве и других областях.

Практика показывает, что несмотря на принятые законодательные акты о раздельном сборе коммунальных отходов, реально этот процесс не выполняется, что приводит к значительным сложностям при их рециклинге. Кроме того, для производства товарной продукции в виде упаковок, емкостей, тары и других изделий производители используют полимерные материалы различного состава и строения – полиамиды (ПА), полиолефины (ПО), полиэтилен-терефталат (ПЭТФ), стиролсодержащие пластики (ПС, АБС). Оборудование, имеющееся на предприятиях по рециклингу, как правило, не располагает необходимыми техническими средствами для идентификации и разделения отходов по составу. Поэтому в процессе подготовки образуются смеси компонентов различного состава. Учитывая, что большая часть полимерных материалов является термодинамически несовместимыми компонентами, при рециклинге формируются условия для получения смесевых композиций с пониженными параметрами характеристик, что приводит к резкому сужению диапазона использования изделий с определенными параметрами характеристик. Учитывая тот факт, что в Республике Беларуси производится ограниченное количество промышленных полимеров (полиамиды, полиолефины, полиэфир), необходимых для производства изделий различного назначения, использование регенерированного сырья, полученного из амортизированных изделий, закупаемых Беларусью с существенно более широким марочным ассортиментом, позволяет расширить возможности промышленных предприятий по использованию полимерных материалов в практической деятельности. Сложившаяся в настоящее время ситуация с рециклингом амортизированных изделий из полимерных и композиционных материалов на их основе не позволяет использовать широкие возможности по увеличению марочного ассортимента для реализации потребностей производства.

Существующая проблема по получению полноценных материалов для изготовления изделий различного функционального назначения из сырьевых материалов, полученных из регенерированных остаточных продуктов и амортизированных изделий не только не позволяет в полной мере реализовать требования концепта устойчивого социально-экономического развития в период до 2035 г., но и существенно расширить марочный ассортимент сырьевых материалов для производства изделий различного функционального назначения.

Для обеспечения экономики замкнутого цикла, на наш взгляд, целесообразно реализовать алгоритм производственной деятельности, основанный на использовании специальных технологических воздействий на остаточные продукты производства и амортизированные изделия (рис. 1).

Это позволит не только вернуть в сферу производства остаточные материальные и энергетические ресурсы, сформировав экономику замкнутого цикла, но и существенно снизить негативное техногенное воздействие на компоненты окружающей среды путем рециклинга амортизированных изделий в использо-

вание полученных материалов для производств а полноценных изделий различного функционального назначения. Предложенный алгоритм находится в соответствии с концептом экологизированных предприятий, разработанным в [5], и обеспечивает решение многофакторной проблемы реализации концепта устойчивого социально-экономического развития с реализацией элементов замкнутого производственного цикла (рис. 2).



Рис. 1. Функциональная связь элементов замкнутого цикла

В системе экологизированного предприятия под термином «технологическое воздействие» рассматривается комплекс мероприятий, направленных на снижение уровня остаточных материалов, образующихся в ходе изготовления основной продукции, и мероприятий, направленных на рециклинг амортизированных изделий, — технологических, материаловедческих, инструментальных, организационных.

Для выполнения подобного технологического воздействия необходимо проведение системных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке технологий, специального оборудования, составов композиционных материалов на основе регенерированных остаточных продуктов и оптимальной логистики. Для этого в системе промышленного предприятия целесообразно создание кластерной структуры, включающей интеллектуальные ресурсы научных, образовательных учреждений и ресурсов, имеющих в распоряжении субъекта хозяйствования [23].

Формирование подобной кластерной структуры позволит интегрировать интеллектуальные ресурсы и достичь синергического эффекта в разработке новых технологий, материалов, оборудования для реализации концепта устойчивого социально-экономического развития хозяйственного комплекса Республики Беларусь.

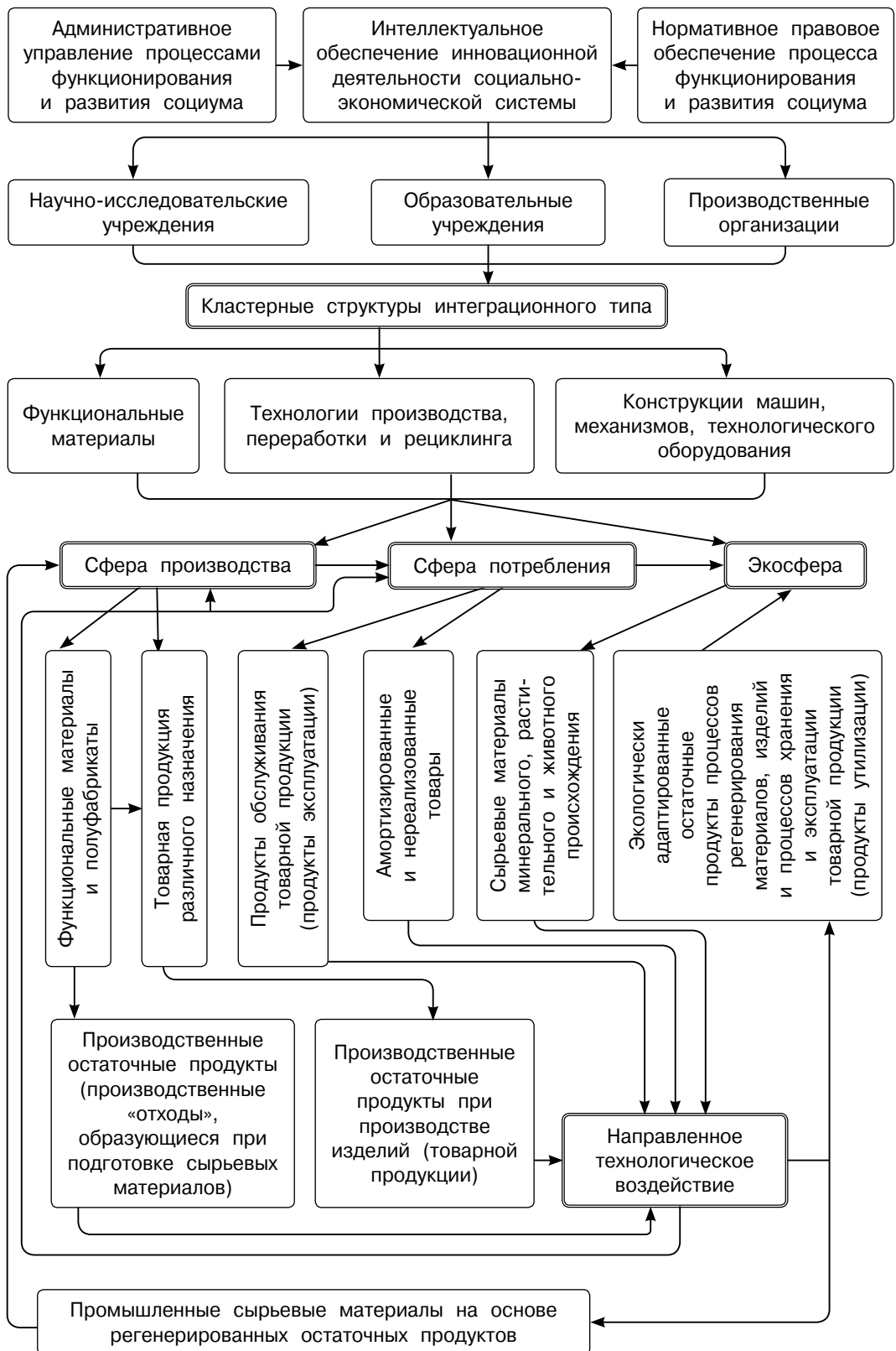


Рис. 2. Методология интеллектуального обеспечения национальной экономической безопасности устойчивого социально-экономического развития

Закключение. Анализ исследований, посвященных разработке методологии реализации стратегии устойчивого социально-экономического развития, свидетельствует о необходимости разработки технологий, формирующих замкнутый цикл в производстве изделий различного функционального назначения. Разработка технологий замкнутого (завершенного) цикла основана на системной научно-исследовательской деятельности в специализированных учреждениях и на промышленных предприятиях, направленной на снижение энерго- и материалоемкости производства, разработку эффективных технологий рециклинга амортизированных изделий и получения регенерированных продуктов с заданными параметрами эксплуатационных характеристик.

Предложен методологический подход к формированию замкнутых циклов в промышленном производстве, который предполагает наличие специального технологического воздействия на остаточные продукты (отходы производства) и амортизированные изделия с целью превращения их в полноценные сырьевые полуфабрикаты. Данный методологический подход эффективно реализуется в рамках концепта интеллектуального обеспечения инновационной деятельности промышленных предприятий путем создания кластерных структур научных, образовательных и производственных учреждений и организаций, которые обеспечивают реализацию концепта устойчивого социально-экономического развития.

Литература и электронные публикации

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. : 4 февр. 2020 г., протокол № 3 : одобр. Президиумом Совета Министров Респ. Беларусь // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.

2. *Леонович, Н. Н.* Предпосылки формирования экономики замкнутого цикла для устойчивого развития Республики Беларусь / Н. Н. Леонович, Т. Ф. Старовойтова // Веснік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага універсітэта. – 2023. – № 1. – С. 75–83.

Leonovich, N. N. Predposylki formirovaniya ekonomiki zamknutogo cikla dlya ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus [Prerequisites for the formation of a circular economy for sustainable development of the Republic of Belarus] / N. N. Leonovich, T. F. Starovojtova // Vesnik Belaruskaga dzyarzhhaunaga ekanamichnaga universiteta. – 2023. – N 1. – P. 75–83.

3. *Руденский, О. В.* Инновационная цивилизация XXI века: конвергенция и синергия NBIC-технологий. Тенденции и прогнозы 2015–2030 / О. В. Руденский, О. П. Рыбак // Информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – 88 с.

Rudenskij, O. V. Innovacionnaya civilizaciya XXI veka: konvergenciya i sinerhiya NBIC-tehnologij. Tendencii i prognozy 2015–2030 [Innovative civilization of the XXI century: convergence and synergy of NBIC technologies. Trends and forecasts 2015–2030] / O. V. Rudenskij, O. P. Rybak // Informacionno-analiticheskij byulleten. – 2010. – N 3. – 88 p.

4. *Сергеев, С. Ф.* Наука и технология XXI века. Коммуникации и NBIKS-конвергенция / С. Ф. Сергеев // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (NBIKS) и трансгуманистическая эволюция. – М., 2013. – С. 158–168.

Sergeev, S. F. Nauka i tehnologiya XXI veka. Kommunikacii i NBIKS-konvergenciya [Science and technology of the XXI century. Communications and NBICS-convergence] / S. F. Sergeev // Globalnoe budushee 2045. Konvergentnye tehnologii (NBICS) i transgumanisticheskaya evolyuciya. – M., 2013. – P. 158–168.

5. *Струк, А. В.* Концепт «экологизации законодательства» в сфере рециклинга отходов промышленного производства / А. В. Струк, А. Г. Авдей, М. Г. Жук. – Минск : Право и экономика, 2019. – 305 с.

Struk, A. V. Koncept «ekologizacii zakonodatelstva» v sfere reciklinga othodov promyshlennogo proizvodstva [The concept of «greening legislation» in the field of recycling of industrial production waste] / A. V. Struk, A. G. Avdej, M. G. Zhuk. – Minsk : Pravo i ekonomika, 2019. – 305 p.

6. *Де Грааф, Дж.* Потреблятьство. Болезнь, угрожающая миру / Дж. де Грааф, Д. Ванн, Т. Х. Нейлор. – Екатеринбург : УльтраКультура, 2008. – 375 с.

De Graaf, J. Potreblyatstvo. Bolezn, ugrozhayushaya miru [Affluenza: The All-Consuming Epidemic] / Dzh. de Graff, D. Vann, T. H. Nejlor. – Ekaterinburg : UltraKultura, 2008. – 375 p.

7. *Солодовников, С. Ю.* Новая парадигма инновационного развития белорусской экономики и подходы к ее формированию / С. Ю. Солодовников // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. D. Экономические и юридические науки. – 2011. – № 14. – С. 2–8.

Solodovnikov, S. Yu. Novaya paradigma innovacionnogo razvitiya belorusskoj ekonomiki i podhody k ee formirovaniyu [A new paradigm of innovative development of the Belarusian economy and approaches to its formation] / S. Yu. Solodovnikov // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. D. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki. – 2011. – N 14. – P. 2–8.

8. *Гусаков, В.* Проблемы и предложения по устойчивому развитию национальной экономики в период международной турбулентности / В. Гусаков // Наука и инновации. – 2023. – № 1. – С. 4–10.

Gusakov, V. Problemy i predlozheniya po ustojchivomu razvitiyu nacionalnoj ekonomiki v period mezhdunarodnoj turbulentsnosti [Problems and proposals for sustainable development of the national economy during the period of international turbulence] / V. Gusakov // Nauka i innovacii. – 2023. – N 1. – P. 4–10.

9. *Муха, Д. В.* Эффективность реализации инвестиционной политики в интересах устойчивого развития / Д. В. Муха / Вестник Института экономики НАН Беларуси : сб. науч. ст. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики. – 2023. – Вып. 6. – С. 50–55.

Muha, D. V. Effektivnost realizacii investicionnoj politiki v interesah ustojchivogo razvitiya [Effectiveness of the implementation of investment policy in the interests of sustainable development] / D. V. Muha / Vestnik Instituta ekonomiki NAN Belarusi : sb. nauch. st. / Nac. akad. Nauk Belarusi, In-t ekonomiki. – 2023. – Вып. 6. – P. 50–55.

10. *Солодовников, С. Ю.* Парадигмальный кризис белорусской экономической науки, цифровизации и проблемы подготовки кадров в сфере обеспечения национальной безопасности / С. Ю. Солодовников // Экономическая наука сегодня. – 2019. – Вып. 10. – С. 182–194.

Solodovnikov, S. Yu. Paradigmalnyj krizis belorusskoj ekonomicheskoj nauki, cifrovizacii i problemy podgotovki kadrov v sfere obespecheniya nacionalnoj bezopasnosti [Paradigmatic crisis of Belarusian economic science, digitalization and problems of personnel training in the field of national security] / S. Yu. Solodovnikov // Ekonomicheskaya nauka segodnya. – 2019. – Вып. 10. – P. 182–194.

11. *Байнев, В. Ф.* Технологическая составляющая экономической и национальной безопасности государства в условиях новой (цифровой) индустриализации / В. Ф. Байнев, Т. Ю. Гораева // Экономическая наука сегодня : сб. науч. ст. / БНТУ. – Минск, 2022. – Вып. 16. – С. 24–34.

Bajnev, V. F. Tehnologicheskaya sostavlyayushaya ekonomicheskoj i nacionalnoj bezopasnosti gosudarstva v usloviyah novoj (cifrovoj) industrializacii [Technological component of the economic and national security of the state in the conditions of new (digital) industrialization] / V. F. Bajnev, T. Yu. Goraeva // Ekonomicheskaya nauka segodnya : sb. nauch. st. / BNTU. – Minsk, 2022. – Вып. 16. – P. 24–34.

12. *Кохановский, А. Г.* На пути становления индустриального общества: модернизационные процессы в Беларуси (60-е гг. XIX – начало XX в.) / А. Г. Кохановский // Працы гістарычнага факультэта БДУ: навук. зб. Вып. 3 / рэдкал.: У. К. Коршук (адк. рэдактар) [i insh.]. – Мінск: БДУ, 2008. – С. 31–46.

Kohanovskij, A. G. Na puti stanovleniya industrialnogo obshestva: modernizacionnyye processy v Belarusi (60-e gg. XIX – nachalo XX v.) [On the way to the formation of an industrial society: modernization processes in Belarus (60s of the 19th century – early 20th century)] / A. G. Kohanovskij // Pracy gistorychnaga fakulteta BDU: navuk. zb. Вып. 3 / redkal.: U. K. Korshuk (adk. redaktar) [i insh.]. – Minsk: BDU, 2008. – С. 31–46.

13. О мерах по дальнейшему улучшению использования вторичного сырья в народном хозяйстве : постановление Совета Министров СССР от 25 янв. 1980 г. № 65 // АО «Кодекс». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/765707805> (дата обращения: 23.01.2026).

14. Об утверждении Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 июля 2017 г. № 567 // Электронный каталог Республканской научно-технической библиотеки Беларуси. – URL: <http://rntbcat.org.by/EK/US/Ecology/66.pdf> (дата обращения: 23.01.2026).

15. Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2007 г. № 271-З : в ред. от 29 дек. 2023 г. № 333-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N12300333> (дата обращения: 23.01.2026).

16. Об установлении перечня отходов, относящихся к коммунальным отходам : постановление М-ва жилищно-коммунал. хоз-ва Респ. Беларусь от 26 дек. 2019 г. № 31 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22035009> (дата обращения: 23.01.2026).

17. О порядке обращения с отходами : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 нояб. 2019 г. № 818 : в ред. от 18 сент. 2024 г. № 683 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21900818> (дата обращения: 23.01.2026).

18. О перечне опасных отходов, сделки с которыми подлежат регистрации : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 янв. 2020 г. № 36 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000036> (дата обращения: 23.01.2026).

19. Об обращении с отходами : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь от 20 нояб. 2019 г. № 39 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W21934836_1575579600.pdf (дата обращения: 23.01.2026).

20. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь от 9 сент. 2019 г. № 3-Т : в ред. от 20 февр. 2024 г. № 7-Т // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p> (дата обращения: 23.01.2026).

21. Об утверждении Инструкции о порядке разработки и утверждения инструкции по обращению с отходами производства : постановление М-ва природных ресурсов и охраны окр. среды Респ. Беларусь от 22 окт. 2010 г. № 45 : в ред. от 23 сент. 2024 г. № 48 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22442192> (дата обращения: 23.01.2026).

22. О Государственной программе «Комфортное жилье и благоприятная среда» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 28 янв. 2021 г. № 50 : в ред. от 21 марта 2024 г. № 201 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400201> (дата обращения: 23.01.2026).

23. *Авдейчик, О. В.* Региональный инновационный кластер: методология формирования и опыт функционирования / О. В. Авдейчик, В. К. Пестис, В. А. Струк; под ред. В. А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 392 с.

Avdeichik O. V. Regional innovation cluster: methodology of formation and operational experience [Regional'nyi innovatsionnyi klaster: metodologiya formirovaniia i opyt funktsionirovaniia] / Avdeichik O. V., Pestis V. K., Struk V. A.; ed. by V. A. Struk. – Hrodna, 2009. – 392 p.

**VOLHA AUDZEICHYK, VASIL STRUK,
LUDMILA NEKHOROSHEVA,
ALIAKSANDR ANTONAU**

***ECOLOGICAL FACTOR OF FORMATION
OF THE ECONOMY OF SUSTAINABLE
SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT***

Authors affiliation. *Volha AUDZEICHYK* (ol_avd.78@mail.ru), *Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Economics and Management in the Agro-Industrial Complex, Grodno State Agrarian University*

(Grodno, Belarus); Vasil STRUK (struk@grsu.by), Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Materials Science and Resource-Saving Technologies, Yanka Kupala State University of Grodno (Grodno, Belarus); Ludmila NEKHOROSHEVA (kepp@bseu.by), Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Enterprise Economics, Belarusian State Economic University (Minsk, Belarus); Aliaksandr ANTONAU (antonov_as@grsu.by), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Science and Resource-Saving Technologies, Yanka Kupala State University of Grodno (Grodno, Belarus).

Abstract. The article considers the directions of realization of the concept of sustainable socio-economic development of Belarus. It is shown that in order to reduce the material intensity of products it is necessary to have a special technological impact on residual products (waste) of the production process and recycling of depreciated products in order to return full-fledged material and energy resources to the sphere of industry. The functional connection of the closed cycle elements has been developed, which allows to realize the concept of sustainable socio-economic development. It is proposed to create cluster structures of scientific, educational and production organizations and institutions in order to activate targeted research activities.

Keywords: sustainable socio-economic development; closed technological cycle; special technological impact; algorithm of closed cycle realization; cluster structures.

UDC 001.895:338.45:626

*Статья поступила
в редакцию 28.01.2026 г.*

YANG NING, WANG XIANPENG

**THE ECONOMIC BENEFITS OF LOW-CARBON
INNOVATION IN THE PATH TOWARDS SUSTAINABLE
NATIONAL GROWTH**

Abstract. Energy demand plays a pivotal role in propelling economic growth, and ensuring the availability of affordable, dependable energy remains a primary goal for sustainable development. In the past, the escalating energy needs of nations have been met primarily through fossil fuels; however, as the world advances, there is an increasing necessity to focus on energy alternatives with smaller carbon footprints, and ultimately, those that are carbon-neutral. The pace at which decarbonization occurs will vary between countries, influenced by unique local conditions and circumstances. This paper

Yang NING (yangningphd@imb.by), Postgraduate studies 1st year, International Institute of Management and Business (Minsk, Belarus);

Wang XIANPENG (wxp-phd@bntu.by), Doctor of Engineering, Ph.D, Economics, International Institute of Management and Business (Minsk, Belarus).