

УДК 332.1:338.45+330.4

DOI 10.5281/zenodo.18048789

ПОЛШКОВ Юлиан Николаевич¹,
ИБРАГИМХАЛИЛОВА Диана Валериевна¹

¹ ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», ул. Университетская, 24, Донецк, Россия, 283001

КОНЦЕПЦИЯ ЦИРКУЛЯРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ОТРАСЛИ

В исследовании рассматривается проблема перехода от экономики промышленности линейного типа к циркулярной модели как основы устойчивого развития производства и реализации продукции отрасли. Целью исследования является разработка и обоснование концептуальной модели циркулярной промышленности, способствующей эффективному использованию ресурсов и минимизации экологических потерь.

В работе, помимо анализа научной литературы, использованы методы статистического анализа данных, экспертного оценивания, финансово-экономической аналитики, а также абстрактно-логический, системный, комплексный и интегративный подходы. Экономико-математические методы представлены стохастическим моделированием.

Главным итогом работы является разработанная концепция «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли». Концептуальные основы следуют принципам экономики циркулярного типа и целостному подходу к цепочкам создания стоимости (дополнительной в том числе). При этом интеграционно учитываются экономические, экологические и социальные аспекты с выходом на новые витки качества сотрудничества государства, бизнеса и общества, а также рост объёмов внедрения инноваций.

Результаты исследования обладают научной новизной. Подтверждена теоретическая и практическая значимость предложенной концепции, которая выступает в роли теоретического базиса для разработки стратегий устойчивого развития промышленных предприятий, отраслей, хозяйственных комплексов регионов. Полученный прирост экономических знаний способствует формированию промышленной политики, направленной на построение конкурентоспособной и экологически безопасной экономики России.

Ключевые слова: *циркулярная экономика, отрасль, промышленность, устойчивость, развитие, концепция, модель, интеграция, прогноз, инновация, сотрудничество, линейная экономика, замкнутый цикл.*

Введение. В условиях истощения природных ресурсов и нарастающих экологических проблем все более неперспективно «выглядит» линейная модель экономики, которая основана на принципе «произвёл-использовал-выбросил» [1].

Данная модель характеризуется малоэффективным использованием ресурсов, значительным накоплением отходов, загрязнению окружающей среды и угрожает будущим поколениям.

Согласно статистическим данным, в 2024 году в России образовано 8,5 млрд. тонн отходов (на 8% ниже, чем в 2023-м). Из них 6,8 млрд. тонн просто «размещены», основная часть (5,4 млрд. тонн) – на временных объектах хранения [24].

Несмотря на снижение отходов производства металлургического и готовых

металлических изделий (кроме машин и оборудования) в структуре образования отходов по видам экономической деятельности за 2022-2024 гг. (рис. 1) совокупные отходы обрабатывающих производств возрастают.

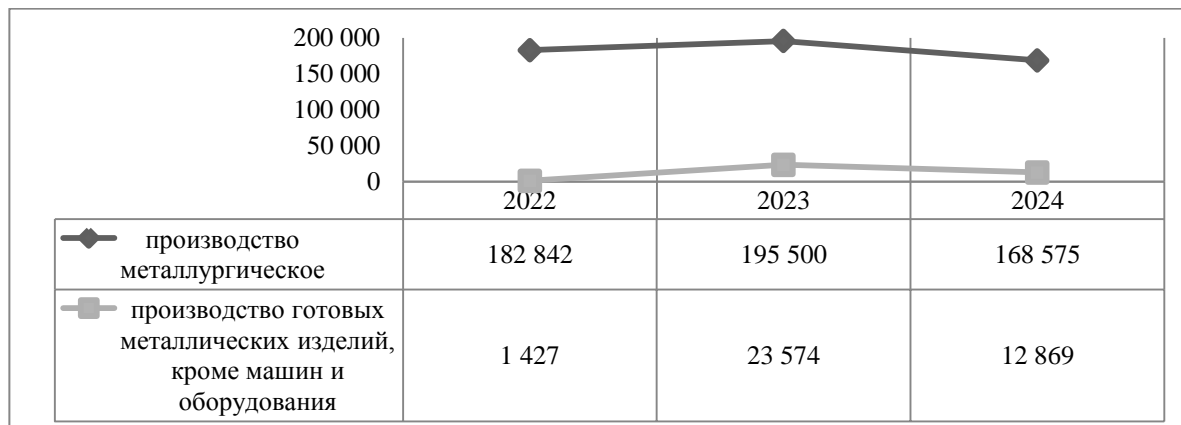


Рис. 1. Образование отходов (тыс. тонн) производства металлургического и готовых металлических изделий (кроме машин и оборудования) за 2022-2024 гг.
 (авторская систематизация на основе данных [24])

В целом же по Российской Федерации, образование отходов в разрезе основных видов экономической деятельности за период 2022-2024 гг. структурно представлено на рис. 2.

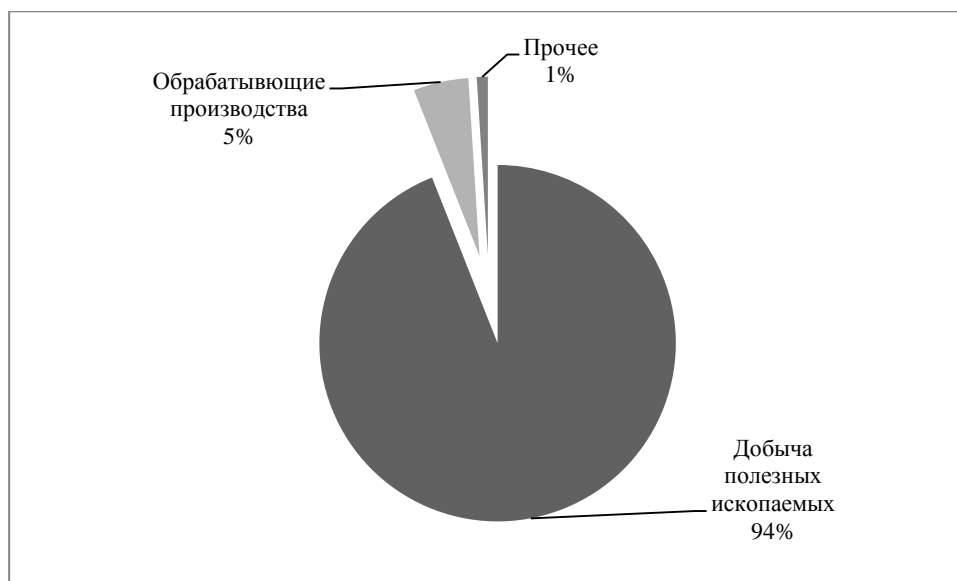


Рис. 2. Долевое участие видов экономической деятельности в образовании отходов
 (авторское усреднение за 2022-2024 гг. на основе данных [24])

Таким образом, добывая полезные ископаемые, национальная экономика образует 94% всех отходов. К прочему (рис. 2) относятся отходы по сельскому хозяйству, лесоводству, охоте, рыболовству, рыбоводству, водоснабжению, водоотведению, ликвидации загрязнений, транспортировке, хранению материальных ценностей и др. Около 2% в общей структуре образования отходов стабильно занимает металлургическое производство, непосредственно связанное с добычей металлических руд (около 27% среди всех отходов) и добычей угля (около 64%).

Аналитика статданных свидетельствует о небольшом уменьшении общего объёма отходов, однако проблема управления отходами в России сохраняется. Критически важным остается высокий процент отходов, размещаемых (а по сути, временно складированных) на полигонах. Рост отходов обрабатывающих производств подчеркивает, что ситуация не улучшается, а лишь меняется структурно.

Согласно федеральному проекту «Экономика замкнутого цикла», принятому в 2022 году (с определением вектора развития до 2030 года) акцентировано внимание на системных мероприятиях. На смену потреблению первичных ресурсов должно прийти их многократное использование и переработка. Амбициозность проекта подчёркивается планируемыми целевыми показателями уровня 2030 года, согласно которым не менее 40% вторресурсов строительства должно использоваться в самом строительном секторе (аналогично 50% по сельскому хозяйству и 34% по промышленности) [25].

В современных условиях эффективное использование ресурсов и минимизация экологических потерь обеспечивается устойчивым развитием экономики промышленной отрасли. Для этого необходима интенсификация усилий по внедрению концепции экономики циркулярного типа, что особенно значимо для отечественной промышленности.

Кардинально иным является подход, соответствующий принципам замкнутых циклов и переработке отходов по максимуму. При этом производство и потребление в рамках концепции циркулярной экономики актуализируют интерес к более глубокому изучению механизмов реализации концептуальных основ, а также к оценке экономических, экологических и социальных выгод.

В 1966 году К. Боулдинг в статье «Экономика будущего космического корабля Земля» подчеркнул, что «Земля – это замкнутая система, в которой ресурсы ограничены, а отходы не исчезают бесследно», инициировав тем самым, создание таких экономических отношений, при которых акцент делается на рециркуляции материалов, долговечности продуктов и минимизации потерь [16, 17].

Начиная с 80-х годов XX века, модель экономики, основанная на «принципах трёх R» – уменьшать (Reduce), повторно использовать (Reuse) и перерабатывать (Recycle) – была названа циркулярной и стала важной концепцией устойчивого развития в ряде стран. Эта модель направлена на оптимизацию использования ресурсов и снижение отрицательного влияния на природу и среду проживания людей, что особенно актуально в условиях ограниченности природных ресурсов и глобальных экологических проблем.

Сегодня много авторов занимаются исследованием циркулярной экономики, рассматривая её с различных точек зрения: от теоретических основ до практических применений в разных отраслях.

Так, Т.Ю. Сазонова в своих исследованиях определяет циркулярную экономику как новый и заслуживающий внимания тренд, основой перехода к которому служит Четвёртая промышленная революция [2].

В свою очередь, А. Мюррей, К. Скин и К. Хейнс под циркулярной экономикой понимают экономическую модель, в которой как результаты, так и собственно процессы ресурсообеспечения и производства планируются и организуются таким образом, чтобы способствовать росту благосостояния людей и эффективности функционирования наиболее важных экосистем [3].

Заслуживает внимания работа Д.В. Валько [4], в которой автор систематизировал признаки циркулярной экономики на основе анализа ряда показателей, отвечающих за:

- 1) создание новой ценности на основе ценности, восстанавливаемой из использованных продуктов [4];
- 2) создание и движение ценности с помощью замкнутых материальных циклов и

внутри них;

3) модельную модификацию индустриального механизма для нулевого производства отходов [5], что повышает устойчивость экономики, но не обязательно приводит к балансу социальных и экологических потребностей [26].

Е.А. Ильина, исследуя вопросы циркулярной экономики, характеризует её как явление, при котором потребление и производство продукции происходят по замкнутому циклу с условием, что ресурсы используются максимально эффективно, не накапливаются отходы производства и отсутствует негативное влияние на окружающую среду [6].

М.В. Петрович и А.В. Булыгина под циркулярной экономикой понимают модель экономики замкнутого цикла, основанную на подобию природного кругооборота, когда продукт жизнедеятельности одного процесса становится ресурсом для второго, когда жизнедеятельность осуществляется на примере взаимовыгодного симбиоза [7].

И.Л. Авдеева и А.А. Адаменко посредством анализа современных концепций развития экономики, направленных на экологичность, возобновляемые ресурсы, переработку, безотходное производство, обосновали необходимость развития технологий циркулярной экономики как основы бережливого отношения к экологии, ответственному производству и ответственному потреблению, включая переработку, утилизацию, повторное использование [8].

Таким образом, можно констатировать, что циркулярная экономика представляет собой модель хозяйствования, нацеленную на создание замкнутых циклов, минимизацию отходов и максимально эффективное использование ресурсов посредством их повторного применения, переработки и восстановления. Стоит отметить, что данная модель хозяйствования не просто минимизирует негативное воздействие на окружающую среду, а создает замкнутую систему, в которой ресурсы используются повторно, отходы превращаются во вторичное сырье, а экономический рост неразрывно связан с экологической стабильностью. Фазы циркулярной экономики выстроены, взаимосвязаны и представляют оптимальную систему функционирования с применением расходных материалов (вторичное использование) и созданием дополнительной ценности продукта.

Обобщая результаты анализа литературы [1-23; 26], можно заключить, что вопросы концепции циркулярной промышленности как основы устойчивого развития экономики отрасли остаются дискуссионными и требуют дальнейшего исследования.

Научная новизна работы состоит в создании комплексного и практико-ориентированного подхода к устойчивому развитию, который учитывает специфику российской промышленности и предлагает эффективные инструменты для управления устойчивостью на микро-, мезо- и макроуровнях.

Исследовательская гипотеза заключается в предположении о том, что степень реализации концепции циркулярной промышленности зависит от уровня технологической модернизации анализируемой отрасли.

Цель работы состоит в разработке и обосновании концептуальной модели циркулярной промышленности как основы устойчивого развития экономики отрасли.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования для проведения анализа состояния промышленности и образования отходов использовались данные Росстата [24], нормативно-правовые документы [25], регулирующие вопросы охраны окружающей среды, а также научные публикации – статьи, монографии и работы [1-23; 26] по вопросам устойчивого развития, циркулярной экономики, отраслей промышленности, промышленной экологии, управления ресурсами и инновациям.

В основе методологии исследования лежит ряд унификационных подходов, а именно: системный подход, позволяющий рассматривать промышленную отрасль как сложную, взаимосвязанную систему, где экономический рост, экологическая безопасность и социальная ответственность должны быть сбалансированы; комплексный подход,

позволяющий использовать широкий спектр методов и инструментов для всестороннего анализа и оценки уровня устойчивости промышленной отрасли; интегративный подход, позволивший объединить различные концепции и теории, необходимые для разработки эффективной и целостной модели циркулярной промышленности концептуального характера.

Для достижения цели и подтверждения гипотезы исследования авторами использован комплекс взаимодополняющих методов. Анализ источников литературы [1-23; 26] позволил определиться с подходами к оцениванию продуктивности устойчивого развития и циркулярной экономики, учитывая научные публикации, нормативные документы и статистические данные. На основе данных Росстата [24] проведён статистический анализ для оценки текущего состояния промышленности, процессов образования и утилизации отходов. Абстрактно-логический метод и метод финансово-экономической аналитики использованы для систематизации полученных данных, выделения ключевых закономерностей и взаимосвязей при разработке концептуальной модели. Экономико-математическое обеспечение концепции осуществлено методом стохастического моделирования, адаптированного авторами статьи на основе идей Б.В. Бондарева [27].

Комбинация указанных выше подходов и методов обеспечивает глубину и обоснованность полученных результатов.

Результаты. Понимая под устойчивым развитием экономики промышленной отрасли, динамично адаптирующуюся систему, направленную на создание долгосрочной экономической ценности посредством интеграции инновационных технологий, бережливого использования ресурсов и активного вовлечения всех заинтересованных сторон, считаем важным отметить, что необходим комплексный подход, учитывающий не только внешние и внутренние факторы [9], но и стратегическую перспективу развития самой отрасли.

Стратегические перспективы развития отраслей промышленности должны опираться на цепочку устойчивого развития промышленной отрасли, чтобы обеспечить не только экономический рост, но и экологическую безопасность, социальную ответственность и долгосрочную конкурентоспособность. В этом случае устойчивое развитие становится неотъемлемой частью стратегии, а не просто дополнительным фактором.

Кроме того, особую значимость в условиях выработки инструментов формирования устойчивого развития экономики промышленной отрасли приобретает воздействие внешней/внутренней среды.

Экологические стандарты и требования к утилизации отходов (внешние факторы) становятся драйверами для перехода к замкнутым производственным циклам, повторному использованию ресурсов и минимизации отходов.

Технологические тренды (внешний фактор), такие как создание новых материалов, технологий переработки и цифровых платформ, позволяют продуцировать более устойчивые и экономически эффективные циклы.

Государственная политика (внешний фактор) может стимулировать внедрение принципов цикличной экономики через налоговые льготы, субсидии и регулирование.

Внутренние факторы, такие как разработка продуктов, пригодных для повторного использования или переработки, оптимизация логистики для возврата материалов и внедрение систем отслеживания отходов, становятся ключевыми для реализации циркулярной модели.

Для устойчивого развития промышленной отрасли и создания сбалансированной и гармоничной экономической системы, способной обеспечить процветание страны в

долгосрочной перспективе, предлагается концепция «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли». Данная концепция позволит обеспечить экологическую устойчивость, социальную ориентированность и экономическую эффективность предприятий, интегрированных в глобальную экономику за счёт внедрения принципов циркулярной экономики и создания интегрированной системы управления устойчивостью.

Методологический каркас концепции циркулярной экономики как основы устойчивого развития экономики промышленной отрасли базируется на:

- концептуальных *принципах экологической экономики*, в частности, на *теории пределов роста*, предложенной Д.Л. Медоусом и Д.Х. Медоусом, которые настаивают на том, что неограниченный экономический рост на планете с конечными ресурсами невозможен [10];

- *теории экосистемных услуг*, признающей ценность природных экосистем и услуг, которые они предоставляют [12; 13];

- *теории «зеленой экономики»*, подчёркивающей необходимость устойчивого экономического развития, основанного на экологически чистых технологиях и ресурсосбережении;

- *промышленной экологии*, включающей идеи безотходных систем производства, не наносящих вреда окружающей среде;

- *концепции «от колыбели до колыбели»*, разработанной М. Браунгартом и У. МакДонафом [14];

- *концепции экологической эффективности* [15], направленной на снижение экологических воздействий с одновременным повышением экономической ценности;

- *промышленном симбиозе* [16-17], базирующемся на сотрудничестве между компаниями при обмене ресурсами и образовании отходов, сокращении издержек и снижении воздействия на природу и среду проживания людей.

- теории управления ресурсами, а именно, *концепциях управления жизненными циклами* [19-20], с возможностью оценки экологического воздействия продуктов или услуг на протяжении их использования, т.е. от момента добычи сырья до момента утилизации;

- *принципе иерархии отходов*, который устанавливает приоритеты менеджмента отходов, минимизирующие экологические последствия с ранжированным порядком действий, где на вершине находятся наиболее предпочтительные варианты, а внизу – наименее желательные, в контексте предотвращения образования отходов, повторного использования, переработки, восстановления энергии и, в последнюю очередь, захоронения отходов;

- *теории и методологии инноваций* [21] как детерминанте развития экономики промышленной отрасли;

- *теории диффузии инноваций* [22, 23], которая объясняет, как новые технологии и идеи распространяются в обществе;

- *концепции «подрывных инноваций»* [23], предполагающей, что новые технологии и бизнес-модели могут «подрывать» существующие рынки и отрасли, переосмысливать традиционные производственные процессы и шаблоны потребления.

Для эффективной реализации принципов циркулярной экономики в методологических разработках необходимо учитывать как минимум две ключевые экономические теории.

Первая из них, неоклассическая экономика предоставляет инструменты анализа затрат и выгод для оценки эффективности циркулярных процессов (переработка, повторное использование ресурсов) и оптимизации ресурсного применения. Адаптация

неоклассических моделей позволяет выявить экономические стимулы и барьеры для перехода к циркулярной экономике.

В свою очередь, институциональная экономика позволяет анализировать и формировать институциональную среду, необходимую для развития циркулярной экономики. Сюда же включим разработку законодательных и нормативных рамок, создание эффективных организаций и механизмов координации между участниками для стимулирования циркулярных практик.

Объектом концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли» является промышленная система, охватывающая все этапы жизненного цикла продукции – от добычи сырья до утилизации отходов – рассматриваемая как единое и взаимосвязанное целое.

По своей сути концепция подразумевает холистический (целостный) подход к устойчивому развитию промышленной отрасли, которое достигается не просто отдельными мерами на отдельных предприятиях, а за счёт интегрированных стратегий, учитывающих экономические, экологические и социальные аспекты на всех этапах цепи. Ключевой принцип – синергия, когда вклад каждого участника умножает общий эффект, обеспечивая устойчивый рост и конкурентоспособность всей отрасли.

Ключевые элементы концепции:

1. Целостный взгляд на цепочку создания стоимости, а именно, анализ и оптимизация всех этапов – от добычи сырья до переработки отходов – с точки зрения устойчивости. Идентификация «узких мест» и возможностей для улучшения.

2. Интеграция двух «Е» и одной «S»:

- экономика (Economy) – посредством повышения эффективности, снижения издержек, стимулирования инноваций, роста производительности труда, создания добавленной ценности;

- экология (Environment) – обеспечение снижения воздействия на окружающую среду, ресурсосбережения, энергоэффективности, перехода к циркулярной экономике;

- социум (Society) – за счёт улучшения условий труда, обеспечения социальной справедливости, вовлечения местных сообществ, поддержки образования и здравоохранения.

3. Синергия и сотрудничество – стимулирование взаимодействия между участниками цепочки, обмен знаниями и опытом, совместные проекты, направленные на достижение общих целей устойчивого развития.

4. Инновации и технологический прорыв – инвестиции в разработку и внедрение новых технологий и бизнес-моделей, способствующих устойчивому развитию. Поддержка инновационных стартапов и кластеров.

5. Прозрачность и отчётность – обеспечение доступности информации о деятельности предприятий и их влиянии на окружающую среду. Внедрение стандартов отчётности в области устойчивого развития.

6. Ответственность и лидерство – формирование культуры причастности к устойчивому развитию на всех уровнях управления. Поддержка лидеров, демонстрирующих приверженность принципам устойчивости.

7. Государственная поддержка и регулирование – создание благоприятной среды для устойчивого развития, включая налоговые льготы, субсидии, стандарты и нормативы.

Целеполагание концепции заключено в содействии формированию экологически устойчивых, социально-ориентированных и экономически эффективных промышленных отраслях Российской Федерации, интегрированных в мировое хозяйство, обеспечивающих высокое качество жизни населения, ресурсную и энергетическую безопасность страны за счёт внедрения принципов циркулярной экономики и создания

интегрированной системы управления устойчивостью на всех этапах цепочки образования ценности.

Учитывая, что основными аспектами устойчивого развития являются экологическая устойчивость, социальная ориентированность и экономическая эффективность, считаем необходимостью наличие более подробных объяснений.

Экологическая устойчивость в концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли» подразумевает:

- минимизацию негативного воздействия промышленного производства на окружающую среду;

- снижение выбросов вредных веществ;

- эффективное использование природных ресурсов;

- предотвращение загрязнения почвы и водных объектов;

- сохранение биоразнообразия.

Акцент делается на отходы, которые превращаются во вторичные ресурсы, а использование первичных материалов сводится к минимуму.

В концепции особое внимание уделяется социальной ориентированности, а именно созданию достойных условий труда, обеспечению безопасности работников, повышению уровня оплаты труда, развитию профессиональных навыков, поддержке местных сообществ.

Промышленность выступает не только «источником прибыли», но и фактором социального благополучия.

И наконец, экономическая эффективность промышленности должна обеспечивать конкурентоспособность на мировом рынке, устойчивый экономический рост, привлекать инвестиции, создавать новые рабочие места и генерировать добавленную стоимость. Эти показатели достигаются за счёт внедрения инновационных технологий, повышения производительности труда, снижения издержек производства и эффективного использования ресурсов.

Российская промышленность должна быть интегрирована в глобальные цепочки создания ценности, участвовать в международной торговле и сотрудничестве с дружественными странами, а также соответствовать мировым стандартам качества и экономической устойчивости. Кроме того, промышленные предприятия должны производить качественную и безопасную продукцию, удовлетворяющую потребности населения, а также создавать благоприятную среду для жизни и работы людей.

Ресурсная и энергетическая безопасность промышленности обеспечивает эффективное использование собственных природных ресурсов. При этом разрабатываются и внедряются энергосберегающие технологии, а также используются возобновляемые источники энергии.

Интегрированная система управления устойчивостью основывается на внедрении сбора и анализа данных согласно принципам ESG (Environmental, Social, Governance [5]). Это позволяет не только выявлять риски, но и формировать сильные стороны предприятий.

Среди действенных механизмов реализации концепции (рис. 3) выделим такие, как разработка и реализация отраслевых стратегий устойчивого развития, внедрение системы показателей устойчивости и мониторинга их достижения, поддержка инновационных проектов и программ, обучение работников и повышение квалификации персонала, взаимодействие с заинтересованными сторонами (государство, бизнес, общество), привлечение инвестиций в проекты, обеспечивающие экономическую устойчивость.

Основные принципы концепции следующие (рис. 3):

- замкнутый цикл материалов, стремление к повторному их использованию и минимизации образования отходов на всех этапах производства и потребления;

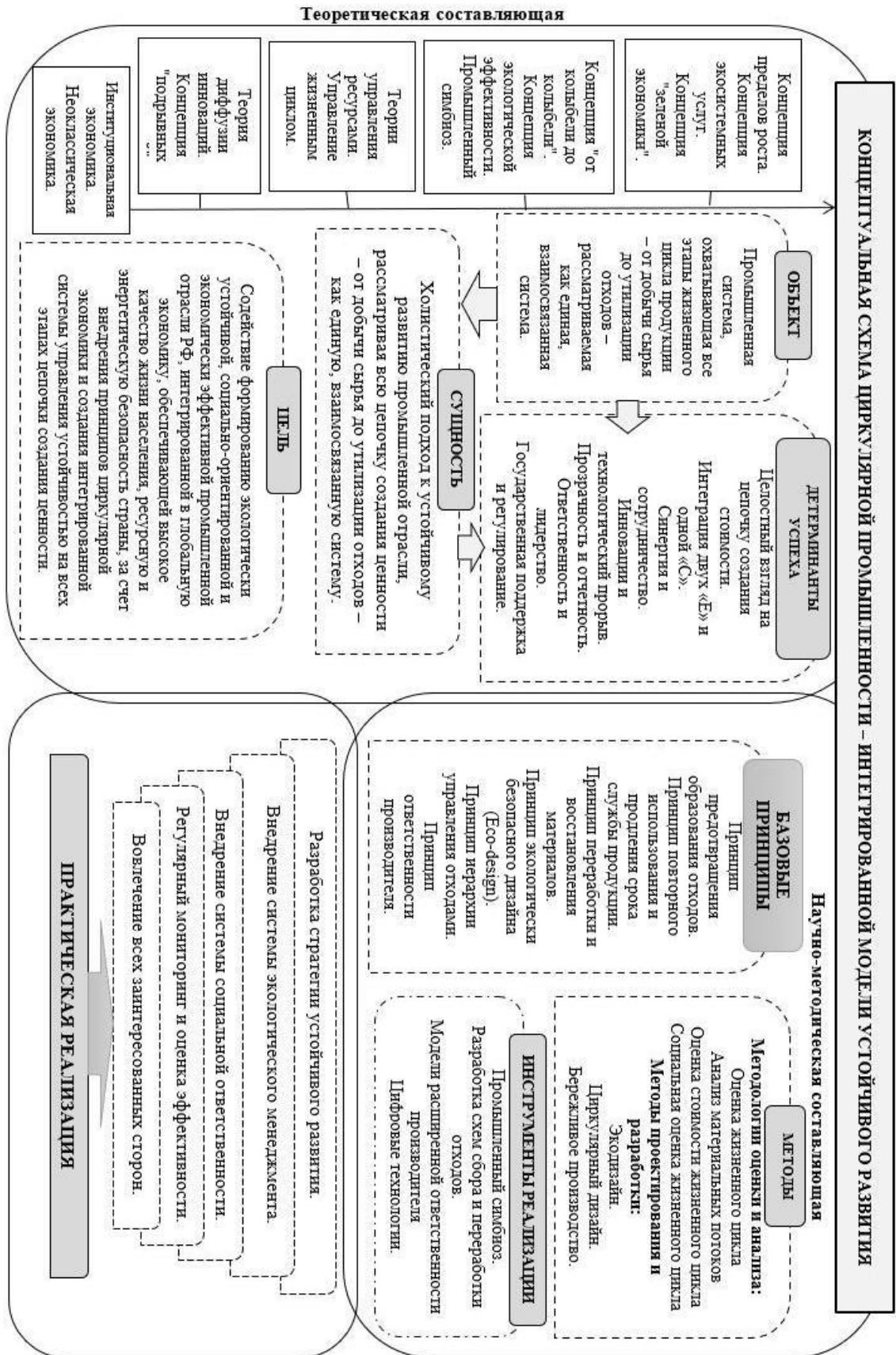


Рис. 3. Схема концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли» (авторская разработка)

- продление срока службы – разработка продукции длительного пользования с возможностью ремонта, модернизации и повторного использования;
- экодизайн (проектирование для переработки) – создание изделий, которые легко разбираются, перерабатываются и повторно используются после окончания срока службы;
- ресурсная эффективность – оптимизация использования ресурсов, снижение энергопотребления, выбор возобновляемых и устойчиво управляемых источников сырья;
- промышленный симбиоз – сотрудничество между предприятиями для обмена отходами и побочными продуктами с использованием их в качестве ресурсов;
- сервитизация (экономика совместного пользования) – переход от продажи продуктов к предоставлению услуг, что стимулирует более эффективное использование ресурсов и продление срока службы продукции.
- восстановление и регенерация – обновление использованных продуктов и материалов до состояния, близкого к первоначальному, а также регенерация природных систем, пострадавших от промышленной деятельности;
- прозрачность и отслеживаемость – обеспечение полноты информации о потоках материалов и отходов на протяжении всей цепочки создания ценности;
- ответственное потребление – поощрение потребителей, выбирающих продукты, произведённые с учётом принципов циклической экономики;
- инновации и сотрудничество – стимулирование нововведений и взаимодействия между предприятиями, научными учреждениями и государственными органами для разработки и тиражирования новых технологий и бизнес-моделей циклической экономики.

Концепция (рис. 3) позволяет:

- повысить эффективность использования ресурсов и способствует снижению затрат;
- сократить отходы и выбросы;
- улучшить условия труда и здоровье работников;
- повысить привлекательность отраслей промышленности для инвесторов;
- привлечь квалифицированные кадры;
- укрепить позиции российской промышленности на мировом рынке;
- достигнуть цели устойчивого развития.

Обсуждение результатов. Данная концепция является комплексным и многоуровневым подходом к устойчивому развитию промышленной отрасли, сочетающим в себе принципы циркулярной экономики, системного мышления и стратегического управления. При этом создаётся методологическая основа для трансформации традиционной линейной модели «добыча-производство-потребление-выброс» в замкнутый цикл, обеспечивающий сохранение ресурсов, снижение экологических издержек и повышение экономической эффективности.

Предлагаемая концепция (рис. 3) представляет собой научно обоснованную модель, способную служить инструментом для разработки и реализации стратегий устойчивого развития на уровне отдельных промышленных предприятий, отраслей и региональных хозяйственных комплексов. Она позволяет идентифицировать ключевые точки воздействия, оценить потенциальные выгоды от внедрения циркулярных практик, спланировать необходимые инвестиции и обеспечить мониторинг достижения поставленных целей.

Модель также способствует формированию новой культуры производства и потребления, основанной на принципах ответственности, сотрудничества и инноваций.

Научная новизна концепции заключается в системной интеграции известных методов и подходов в рамках единой модели, учитывающей специфику промышленной отрасли и особенности российской экономики. В частности, предлагается новый взгляд на понятие «устойчивое развитие», который задействует не только экологические и

социальные аспекты, но и экономическую целесообразность, а также необходимость адаптации к изменяющимся условиям.

Как указывалось ранее, концепция предлагает новый методологический каркас для оценки и управления устойчивостью промышленных предприятий, основанный на принципах циркулярной экономики. К сугубо количественным методам относятся – оценка жизненного цикла, анализ материальных потоков и оценка стоимости жизненного цикла (рис. 3).

Перечисленные экономико-математические методы требуют использования достаточно тонких инструментов стохастического моделирования [27]. Среди них центральное место занимает семейство непрерывных по переменной времени t случайных процессов:

$$\zeta_{\varepsilon}(t) = \sqrt{\varepsilon} \int_0^{t/\varepsilon} \eta(s) ds. \quad (1)$$

В равенстве (1) под знаком интеграла находится центрированный стационарный случайный процесс $\eta(s)$, удовлетворяющий ряду условий (о них речь пойдёт позже). Семейство $\zeta_{\varepsilon}(t)$ построено на тех же самых вероятностных пространствах, что и винеровские процессы $w_{\varepsilon}(s)$, названные в честь Н. Винера – основоположника кибернетики как науки [27]. Нижний индекс ε указывает на возможность предельного перехода, что характерно для жизненных циклов материальных субстанций, на которые воздействуют быстрые случайные осцилляции возможных рисков санкционного давления, импортозамещения, технологического суверенитета и др. факторов.

Эмпирически подтверждено, что достоверность прогнозирования экономических показателей промышленных отраслей должна исходить из ряда математических посылов (табл. 1).

Таблица 1. Математическое обеспечение концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли»*

<i>Составная часть стохастического моделирования</i>	<i>Аналитическая спецификация</i>
1	2
Равномерное сильное перемешивание исходов эксперимента – условие адаптации случайного процесса $\eta(s)$ к реалиям циркулярной промышленности	$\sup_{A \in \mathfrak{R}_0^t, B \in \mathfrak{R}_{t+\tau}^{+\infty}} P(B/A) - P(B) = \varphi(\tau) \rightarrow 0, \tau \rightarrow \infty$
Абсолютная регулярность исходов эксперимента – альтернативное условие	$M \sup_{B \in \mathfrak{R}_{t+\tau}^{+\infty}} P(B/\mathfrak{R}_0^t) - P(B) = \beta(\tau) \rightarrow 0, \tau \rightarrow \infty$
Разложение случайного процесса, описывающего жизненные циклы материальных субстанций, на осциллирующую и стабилизирующую части	$\zeta_{\varepsilon}(t) = \sigma_0 w_{\varepsilon}(t) + \rho_{\varepsilon}(t)$

Окончание табл. 1

1	2
Оценка вероятности экспоненциального сближения прогнозных и фактических значений экономических показателей промышленной отрасли	$P \left\{ \sup_{0 \leq t \leq T} \rho_\varepsilon(t) > \delta(\varepsilon) \right\} \leq c_3 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon} \right) \exp \left\{ -\frac{\delta(\varepsilon)}{\sqrt{\varepsilon}} c_4 \right\}$
Аддитивное представление интенсивности материальных потоков в циркулярной промышленности	$Y_\varepsilon(t) = x_0 + \int_0^t a(s, Y_\varepsilon(s)) ds + \int_0^t \sigma(s, X_0(s)) \eta(s/\varepsilon) ds$
Функционал оценки стоимости жизненных циклов материальных субстанций	$V_\varepsilon^u(0, x_0, X_\varepsilon^u(\cdot)) = M \exp \left\{ \Phi(X_\varepsilon^u(T)) \right\}$

*авторское развитие идей работы [27]

Предложенное обеспечение (табл. 1) позволяет достаточно правдоподобно прогнозировать значения экономических показателей отраслей отечественного индустриального сектора в рамках концепции циркулярной промышленности, оперируя с аппаратом элементарных исходов, случайных событий и процессов, условных и безусловных вероятностей, сигма-алгебр, предельного и допредельного оценивания, супремумов и математических ожиданий, стохастических интегральных и дифференциальных уравнений [27]. Для их корректного использования будем исходить из потенциала устойчивого развития анализируемых отраслей национального хозяйства в долгосрочной перспективе (рис. 4).

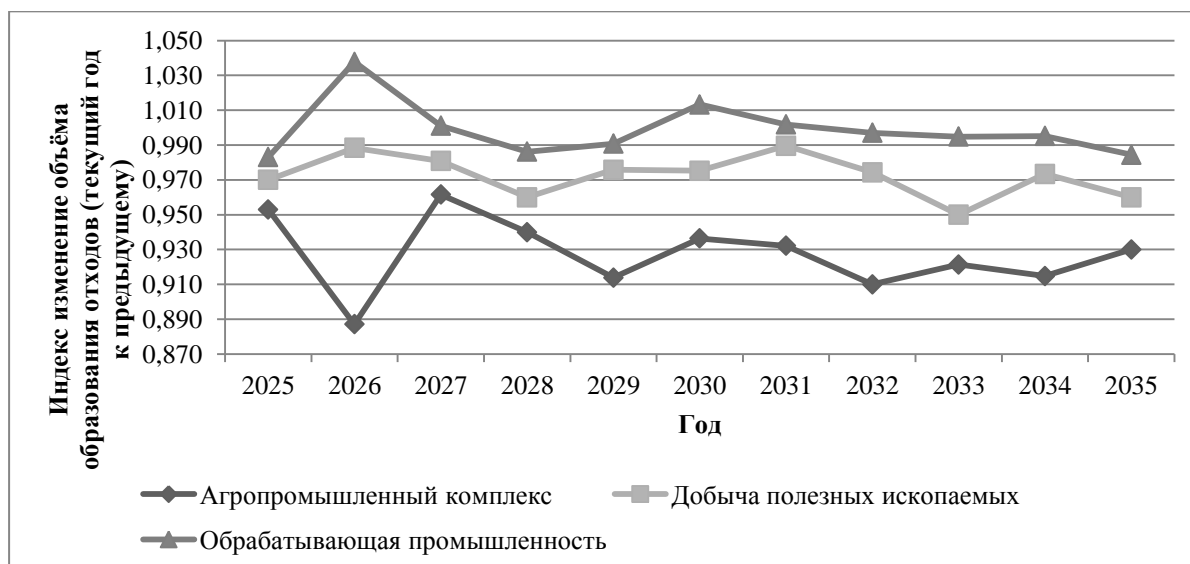


Рис. 4. Применение усовершенствованного инструментария стохастического моделирования в отношении ряда секторов отечественной экономики (авторское прогнозирование с помощью формулы (1) и содержимого табл. 1 по данным [24])

Судя по рис. 4, предполагается, что внедрение концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли»

окажет позитивное воздействие на образование отходов в агропромышленном комплексе и секторе добычи полезных ископаемых (прогнозируемое значение индекса стабильно меньше единицы). Несколько более сложная ситуация возможна в секторе обрабатывающей промышленности, т.к. время от времени индекс немного превосходит единицу (объём отходов растёт на несколько процентов). Однако и здесь, начиная с 2032 года, прогнозируется последовательное снижение объёмов образования отходов.

Ожидаемые положительные изменения в течение следующих десяти лет (рис. 4) эмпирически подтверждают выдвинутую гипотезу. Планируемый рост уровня технологической модернизации отраслей агропромышленного комплекса, обрабатывающей промышленности и сектора добычи полезных ископаемых ускоряет реализацию в отношении них предлагаемой концепции.

Практическая значимость полученных результатов проявляется в возможности применения модели концепции для разработки и реализации конкретных проектов по внедрению циркулярных практик в различных отраслях промышленности. Концепция может быть использована для разработки нормативных документов и стандартов, стимулирующих переход к устойчивому развитию, а также для подготовки образовательных программ и тренингов, направленных на повышение квалификации специалистов в сегменте заявленного научного поиска. Концепция выступает в роли основы промышленной политики государства с перспективой создания долгосрочных тенденций конкурентоспособности экономики и её экологической безопасности. Кроме того, реализация предложенной концепции может стимулировать формирование новых рынков и создание новых рабочих мест в области переработки отходов, возобновляемой энергетики и зелёной экономики.

Заключение. Переходя к итогам выполненного исследования, отметим, что цель исследования достигнута, а задачи, поставленные в его рамках, успешно решены. Подтверждена непротиворечивость выдвинутой гипотезы. Сформулирована научная новизна полученных результатов.

Разработанная концепция «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли» представляет собой значимый вклад в развитие теории и практики современных экономических отношений. Концепция интегрирует принципы циркулярной экономики, системного мышления и стратегического управления, предлагая комплексный подход к трансформации традиционной линейной модели в замкнутый цикл. Ключевым аспектом является целостный взгляд на цепочку создания стоимости, что способствует интеграции экономических, экологических и социальных факторов, синергии и сотрудничеству между участниками анализируемых процессов. Характерные черты концепции – инновации и технологический прорыв, прозрачность и отчётность, ответственность и лидерство, а также государственная поддержка и регулирование.

Перспективы дальнейших исследований просматриваются в практическом внедрении концепции «Циркулярная промышленность – интегрированная модель устойчивого развития экономики отрасли». Являясь научно обоснованной моделью, предложенный концептуальный базис способен служить инструментом для формирования эффективной промышленной политики Донецкой Народной Республики, которая крайне нуждается в формировании конкурентоспособной и экологически безопасной экономики, обеспечивающей устойчивый рост и долгосрочное процветание.

Список литературы

1. Авдокушин, Е. Ф. Поиск новой модели развития: регенеративная экономика / Е.Ф. Авдокушин, Е.Г. Кузнецова // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление.

Право. – 2022. – № 4. – С. 20-46. – DOI 10.28995/2073-6304-2022-4-20-46.

2. Сазонова, Т.Ю. Волны интернационализации и перспективы глобализации / Т.Ю. Сазонова // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2013. – Т. 176. – С. 495-502.

3. Murray, Alan, Skene, Keith and Haynes, Kathryn (2017) The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140 (3). pp. 369-380. ISSN 0167-4544. DOI. org/10.1007/s10551-015-2693-2.

4. Валько Д.В. Циркулярная экономика: основные бизнес-модели и экономические возможности / Д.В. Валько // Журнал экономической теории. –2020. – Т. 17. – №1. – С. 156-163.

5. Scott J. T. *The Sustainable Business a Practitioner’s Guide to Achieving Long-Term Profitability and Competitiveness*. – Greenleaf Publishing: Sheffield, UK, 2013. – 236 p.

6. Ильина Е.А. Циркулярная экономика: концептуальные подходы и механизмы их реализации / Е.А. Ильина // Организатор производства. – 2022. – Т. 30. – № 3. – С. 21-30.

7. Петрович, М.В. Модель циркулярной экономики: сущность, неизбежность и значимость для Республики Беларусь / М.В. Петрович, А.В. Булыгина // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2021. – № 5(148). – С. 5-16.

8. Авдеева И.Л. Технологии циркулярной экономики: отечественный и зарубежный опыт / И. Л. Авдеева, А. А. Адаменко // Вестн. Акад. знаний. – 2023. – № 54. – С. 10-16.

9. Миронова, Н. Н. Сущность и факторы устойчивого развития экономики промышленных предприятий / Н.Н. Миронова // Бизнес в законе. – 2008. – № 3. – С. 233-235.

10. Пределы роста / Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рендерс Й., Беренс В. В.: пер. с англ. – Москва : Изд-во МГУ 1991. – 205 с.

11. Римский клуб: идея устойчивого развития // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2017. – № 2. – С. 213-225.

12. Costanza R., d’Arge R., de Groot R. et al. (1997) The value of the world’s ecosystem services and natural capital // *Nature* 387(15): 253-260 DOI:10.1016/S0921-8009(98)00020-2.

13. Daily, Gretchen C. «Nature’s Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems (1997)». *The Future of Nature: Documents of Global Change*, edited by Libby Robin, Sverker Sörlin and Paul Warde, New Haven: Yale University Press, 2013, pp. 454-464. DOI:10.12987/9780300188479-039.

14. McDonough W., Braungart M., *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press, 2002. – 193 p.

15. Макинтайр, Р.; Торнтон, Дж. (1978). «Об экологической эффективности экономических систем». *Советские исследования*. 30 (2): 173-192. DOI:10.1080/09668137808411179.

16. Boulding, K. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. In *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth RFF Forum (RFF Environmental and Resource Economics Set)*, 1966, pp. 3-14.

17. Boulding K. *The Economics of the Coming Spaceship Earth* / K. Boulding // *Classics in Environmental Studies. An Overview of Classic Texts in Environmental Studies* / editors: N. Nelissen, J. van der Straaten, L. Klinkers. – Utrecht, the Netherlands: International Books, 1997. – pp. 218-228.

18. Chertow, M.R., 2008. «Uncovering» industrial symbiosis. *J. Ind. Ecol.* 11 (1), 2008, pp. 11-30.

19. Адизес, И.К. *Управление жизненным циклом корпорации: пер. с англ.* /

И.К. Адизес. – Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2012. – 383 с.

20. Грейнер, Л.Е. Эволюция и революция в процессе роста организаций / Л.Е. Грейнер // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2002. – № 4. – С. 75-90.

21. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития (Исследование предпринимательской прибыли, кредита, процента и цикла конъюнктуры). М.: Прогресс, 1982. – 453 с.

22. Hagerstrand T. Innovation diffusion as a spatial process (A. Pred, Trans.) Chicago: University of Chicago press, 1967.

23. Christensen, Clayton M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. – Boston, Massachusetts, USA : Harvard Business School Press, 1997. – ISBN 978-0-87584-585-2.

24. Основные показатели охраны окружающей среды [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики России. – URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2025.pdf (дата обращения: 20.11.2025).

25. Федеральный проект «Экономика замкнутого цикла» // Правительство России. – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/federalnyy-proekt-ekonomika-zamknutogo-tsikla/ (дата обращения: 22.10.2025).

26. Mentink B. Circular Business Model Innovation: A Process Framework and a Tool for Business Model Innovation in a Circular Economy / Master's Thesis, Delft University of Technology & Leiden University, Leiden, The Netherlands, 2014. 168 p. [Электронный ресурс] // URL: <https://resolver.tudelft.nl/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621> (дата обращения: 20.11.2025).

27. Бондарев, Б.В. О неравенстве Колмогорова-Гаека-Реньи для нормированных интегралов от процессов со слабой зависимостью / Б.В. Бондарев // Теория вероятностей и её применения. – 1997. – Т. 42, № 2. – С. 225-238.

Полшков Юлиан Николаевич, доктор экономических наук, доцент, декан экономического факультета, и.о. зав. кафедрой математики и математических методов в экономике, ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Донецк, Россия
E-mail: yu.polshkov@donnu.ru
ORCID 0000-0003-2574-5925

Ибрагимхалилова Диана Валериевна, аспирант кафедры математики и математических методов в экономике, ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Донецк, Россия
E-mail: ldv26071996@mail.ru
ORCID 0009-0004-7049-1754

Поступила в редакцию 28.11.2025 г.

UDC 332.1:338.45+330.4

DOI 10.5281/zenodo.18048789

POLSHKOV Yulian¹,
IBRAGIMKHALILOVA Diana¹

¹ Donetsk State University, Universitetskaya str., 24, Donetsk, Russia, 283001

THE CONCEPT OF CIRCULAR INDUSTRY AS A BASIS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRY'S ECONOMY

This study examines the transition from a linear industrial economy to a circular model as the basis for sustainable development of production and sales of the industry's products. The aim of the study is to develop and validate a conceptual model of circular industry that promotes the efficient use of resources and minimizes environmental losses.

In addition to analyzing scientific literature, the work utilizes statistical data analysis, expert assessment, financial and economic analytics, as well as abstract-logical, systemic, complex, and integrative approaches. Economic and mathematical methods are represented by stochastic modeling.

The main result of the study is the developed concept of "Circular Industry – an integrated model for sustainable development of the industry's economy." The conceptual framework follows the principles of a circular economy and a holistic approach to value chains (including additional value chains). It integrates economic, environmental, and social aspects, achieving new levels of collaboration between government, business, and society, as well as increasing the implementation of innovations.

The results of the study are scientifically novel. The theoretical and practical significance of the proposed concept has been confirmed, serving as a theoretical basis for developing sustainable development strategies for industrial enterprises, sectors, and regional economic complexes. The resulting increase in economic knowledge contributes to the development of industrial policy aimed at building a competitive and environmentally friendly Russian economy.

Key words: *circular economy, sector, industry, sustainability, development, concept, model, integration, forecast, innovation, cooperation, linear economy, closed loop.*

References

1. Avdokushin, E.F., & Kuznetsova, E.G. (2022) [Searching for a new development model: Regenerative economy]. *RSUH/RGGU Bulletin. Economics. Management. Law Series*, 4, 20–46. doi: 10.28995/2073-6304-2022-4-20-46. (In Russian).
2. Sazonova, T.Yu. (2013). [Waves of internationalization and prospects for globalization]. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 176, 495–502. (In Russian).
3. Murray, Alan, Skene, Keith and Haynes, Kathryn (2017) *The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context*. *Journal of Business Ethics*, 140 (3). pp. 369–380. ISSN 0167-4544. doi: org/10.1007/s10551-015-2693-2.
4. Valko, D.V. (2020). [Circular economy: Key business models and economic opportunities]. *Journal of Economic Theory*, 17(1), 156–163. (In Russian).
5. Scott, J.T. (2013). *The sustainable business: A practitioner's guide to achieving long-term profitability and competitiveness*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
6. Iina, E. A. (2022). [Circular economy: Conceptual approaches and mechanisms for their implementation]. *Production Organizer*, 30(3), 21–30. (In Russian).
7. Petrovich, M. V., & Bulygina, A. V. (2021). [Circular economy model: Essence,

inevitability and significance for the Republic of Belarus]. *Belarusian State Economic University Bulletin*, 5(148), 5–16. (In Russian).

8. Avdeeva, I.L., & Adamenko, A.A. (2023). [Technologies of circular economy: Domestic and foreign experience]. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 54, 10–16. (In Russian).

9. Mironova, N. N. (2008). [The essence and factors of sustainable development of the economy of industrial enterprises]. *Business in Law*, 3, 233–235. (In Russian).

10. Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., & Behrens, W.W. (1991). [The limits to growth (Translation from English)]. *Moscow: MSU Publishing House*. (In Russian).

11. The Club of Rome: The idea of sustainable development. (2017). *Kutafin University Law Review (MSAL)*, 2, 213–225. (In Russian).

12. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., et al. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature*, 387(15), 253–260. doi:10.1016/S0921-8009(98)00020-2.

13. Daily, G. C. (2013). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (1997). In L. Robin, S. Sörlin, & P. Warde (Eds.), *The future of nature: Documents of global change* (pp. 454–464). New Haven: Yale University Press. doi:10.12987/9780300188479-039.

14. McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

15. McIntyre, R., & Thornton, J. (1978). *On the environmental efficiency of economic systems*. *Soviet Studies*, 30(2), 173–192. doi:10.1080/09668137808411179.

16. Boulding, K. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. In *Environmental quality in a growing economy: Essays from the Sixth RFF Forum (RFF Environmental and Resource Economics Set)*, pp. 3–14.

17. Boulding, K. (1997). *The economics of the coming spaceship Earth*. In N. Nelissen, J. van der Straaten, & L. Klinkers (Eds.), *Classics in environmental studies. An overview of classic texts in environmental studies* (pp. 218–228). Utrecht, the Netherlands: International Books.

18. Chertow, M.R. (2008). «Uncovering» industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30.

19. Adizes, I.K. (2012). *Managing corporate lifecycles (Translation from English)*. Saint Petersburg [etc.]: Piter. (In Russian).

20. Greiner, L.E. (2002). *Evolution and revolution as organizations grow*. *Vestnik of Saint Petersburg University*, 4, 75–90. (In Russian).

21. Schumpeter, J.A. (1982). *The theory of economic development (An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle)*. Moscow: Progress. (In Russian).

22. Hågerstrand, T. (1967). *Innovation diffusion as a spatial process (A. Pred, Trans.)*. Chicago: University of Chicago Press.

23. Christensen, C.M. (1997). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press.

24. Main environmental protection indicators. *Federal State Statistics Service of Russia = Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki Rossii*. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2025.pdf (date of application: 20.11.2025). (In Russian).

25. Federal project «Circular Economy». *Government of Russia*. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/federalnyy-proekt-ekonomika-zamknutogo-tsikla/ (date of application: 22.10.2025). (In Russian).

26. Mentink, B. (2014). *Circular business model innovation: A process framework and a tool for business model innovation in a circular economy* (Master's Thesis, Delft University of

Technology & Leiden University, Leiden, The Netherlands). URL: <https://resolver.tudelft.nl/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621> (date of application: 20.11.2025).

27. Bondarev, B.V. (1997) [On the Kolmogorov-Hajek-Renyi inequality for normalized integrals of processes with weak dependence]. *Probability Theory and Its Applications = Teoriya veroyatnostey i yeyo primeneniya*. 42 (2), 225-238. (In Russian).

Polshkov Yulian, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Economics, Acting Head of the Department of Mathematics and Mathematical Methods in Economics, Donetsk State University, Donetsk, Russia

E-mail: yu.polshkov@donnu.ru

ORCID 0000-0003-2574-5925

Ibragimkhalilova Diana, Postgraduate Student of the Department of Mathematics and Mathematical Methods in Economics, Donetsk State University, Donetsk, Russia

E-mail: idv26071996@mail.ru

ORCID 0009-0004-7049-1754

Received 28.11.2025