

DOI: 10.37930/1990-9780-2023-3-77-155-169

В. А. Кощеев¹, А. А. Алексеев², В. А. Александрова³

СТРОИТЕЛЬСТВО ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ: ПЕРСПЕКТИВА ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются вопросы технологических и организационных инноваций в сфере обращения с отходами, позволяющих реализовать принципы концепции экономики замкнутого цикла. Выявлена стагнация технологического, а как следствие и экономического, развития системы обращения с отходами в силу невовлечённости в цикл технологического и строительного проектирования носителей инновационных идей и разработок – стартапов (инновационных предпринимателей). Выполнена оценка инновационного потенциала технологий сбора и переработки отходов, отражённая через доказанную (методом кейс-стади) тенденцию формирования профильных стартапов. Предложенное включение стартапов в цикл проектирования строительных объектов по переработке отходов стартапов повлияет на уровень моральной новизны технологий переработки и, как следствие, на экономическую эффективность эксплуатации объектов.

Ключевые слова: экономика строительства, экономика промышленности, инновации, малые инновационные предприятия, обращение с отходами, вторичное сырьё.

УДК 334.75

Введение

Управление обращением с отходами является одним из ключевых вопросов развития городских агломераций на платформе «умного города». Технологии обращения строятся на принципах экономики замкнутого цикла (далее – ЭЗЦ), которые формируют предпосылки устойчивого развития городских агломераций и потому рассматриваются как самостоятельный вопрос научной дискуссии. В фокусе внимания концепции ЭЗЦ находятся организационные модели и технологии обращения с отходами, позво-

¹ *Вадим Аркадьевич Кощеев*, профессор кафедры экономики строительства и ЖКХ Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, РФ, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), д-р экон. наук, профессор, e-mail: prmos@bk.ru

² *Андрей Алексеевич Алексеев*, профессор кафедры экономики и управления предприятиями и производственными комплексами Санкт-Петербургского государственного экономического университета (191023, РФ, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, лит. А), д-р экон. наук, профессор, e-mail: idc@unecon.ru

³ *Валерия Андреевна Александрова*, студентка факультета управления Санкт-Петербургского государственного экономического университета (191023, РФ, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30-32, лит. А), e-mail: valeriy_a@list.ru

ляющие превратить их в сырьё, вторичные ресурсы для промышленности и энергетики. Основной экономической целью внедрения концепции является возвращение в промышленной оборот, по разным оценкам, 60...80 % отходов в виде вторичного сырья, чтобы заместить в глобальном ресурсном балансе 20...40 % первичного. Апологеты концепции формулируют главные экономические принципы обращения с отходами в рамках концепции ЭЗЦ [1]: а) рыночный характер экономического взаимодействия субъектов цикла обращения; б) экономическая эффективность цикла «сбор – переработка – вторичное использование отходов»; в) инвестиционная привлекательность промышленных объектов сортировки и переработки; г) самоорганизация субъектов в цепочки обращения; д) поступательное редуцирование роли государства (его бюджетов) в цикле. Ядром и драйвером реализации концепции является принцип *экономической эффективности*, выраженный в привлекательном уровне прибыльности процесса технологической переработки отходов, которая рассматривается в цепочке «сбор – транспортировка – переработка – реализация вторичного сырья как промышленного ресурса». Ключевым условием самоорганизации цепочки является развитие рынка вторичного сырья.

В этом контексте ретроспективный и актуальный анализ (мы изучили и подтвердили данные 2014 г. (табл. 1) по базе Amadeus⁴) уровня рыночной рентабельности частных предприятий Финляндии⁵ не обнаружил высокой рентабельности по чистой прибыли (в сравнении с актуальной периоду ставкой дисконтирования). Относительно высокий уровень рентабельности отдельных предприятий Финляндии, специализирующихся на сортировке и захоронении отходов (7 %), объясняется высокими тарифами на сбор (метод ценообразования не рыночный – от затрат + справедливая маржа), а по батарейкам и аккумуляторам – высокой тарифной ставкой экосбора.

Таблица 1

**Рентабельность (по чистой прибыли) частных предприятий
(по выборке 52 компаний в рамках гранта WM SE-500)
по переработке бытовых и промышленных отходов Финляндии [2]**

Специализация и виды отходов	Рентабельность, %
Сортировка и захоронение	7
Батарейки и аккумуляторы	11,05
Бытовая техника и электроника	0,2
Шины	0,6
Упаковка напитков	4
Стекло	6,8
Пластик	2,4
Транспортные средства	2,1
Папья	12
Металл	4,2
Макулатура	13
Деревянная упаковка	-2,4
Биогаз	7,3

⁴ Режим доступа: <http://www.bvdep.com> 22.01.2021.

⁵ Финляндия входит в тройку мировых лидеров по технологическим, организационным и правовым достижениям в обращении с отходами [2, с. 17–24].

Уровень рентабельности не позволяет определить промышленное строительство в сфере переработки отходов как привлекательное для инвестиций направление. На наш взгляд, это объясняется (что согласуется с мнением других экспертов [3, 4]) недостаточным уровнем развития технологий по переработке отходов, относительно низким уровнем производительности, а также технико-технологических характеристик современных процессов. В частности, переработка электроники автоматизирована всего на 12 %, технологический процесс практически полностью ручной, что объясняет его низкую экономическую эффективность (рентабельность – 0,2 % с учётом поступлений от экосбора). Таким образом, реализацию ЭЗЦ и экономическое развитие промышленности вторичной переработки сдерживает недостаточный уровень технологического и научно-технического развития. При этом понятно, что проекты строительства объектов по переработке отходов – это долгосрочные инвестиции.

Заложенная в проект технология переработки отходов сохранится в течение 7...10 лет после строительства (вплоть до вывода объекта из эксплуатации) и не стоит ожидать (мы не обнаружили таких кейсов), что инвестор проведёт в этот период модернизацию (это – дополнительные инвестиции) объекта для повышения моральной новизны технологии. Именно это актуализирует проблему выбора и(или) создания (цикл НИОКР) инновационной технологии переработки на предпроектном этапе строительства, а также поиска инновационных решений, позволяющих увеличить производительность, уровень автоматизации и цифровизации и как следствие – повысить экономическую эффективность процессов обращения отходов.

Заявленная проблематика (ЭЗЦ как платформа обращения отходов) нормативно закреплена в России. Теоретической платформой является доказанная С. В. Ратнером корреляция между «уровнем/динамикой развития циркулярной экономики и показателями экономического и инновационного развития страны» [5], а нормативной (федеральной) платформой – «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» (принята в 2018 г.⁶), раскрываемая через целевые показатели. В частности, на горизонте 2030 г. планируется довести «долю утилизированных и обезвреженных отходов в общем объеме образованных отходов» до 86 %, а «количество созданных производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов» должно составить 226 единиц. Стратегия разработана и внедряется как ответ на опережающую тенденцию роста образования отходов (рис. 1) по отношению к доле утилизированных и обезвреженных (47 % в 2021 г.). Ситуацию с воплощением стратегии можно оценить по пространственной карте реализации инвестиционных проектов (рис. 2). Объективность экономического развития системы комплексов переработки отмечает и Президент России В. В. Путин в Послании Федеральному собранию – 2023: «...Мы неплохо продвинулись в реформировании отрасли по обращению с отходами. Нарастаем мощности по переработке и сортировке, чтобы перейти к экономике замкнутого цикла...».

При этом сохраняется ряд технико-экономических сложностей при реализации стратегий, определяющих 112-е место России в мировом рейтинге обращения с отходами⁷. *Первая*, объективная, сложность связана с пространственной разнесённостью

⁶ Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKofe rAowzJ.pdf> 12.05.2023.

⁷ Environmental Performance Index. Ranking country performance on sustainability issues. Режим доступа: <https://nonews.co/wp-content/uploads/2022/06/epi2022.pdf> 1.05.2019.

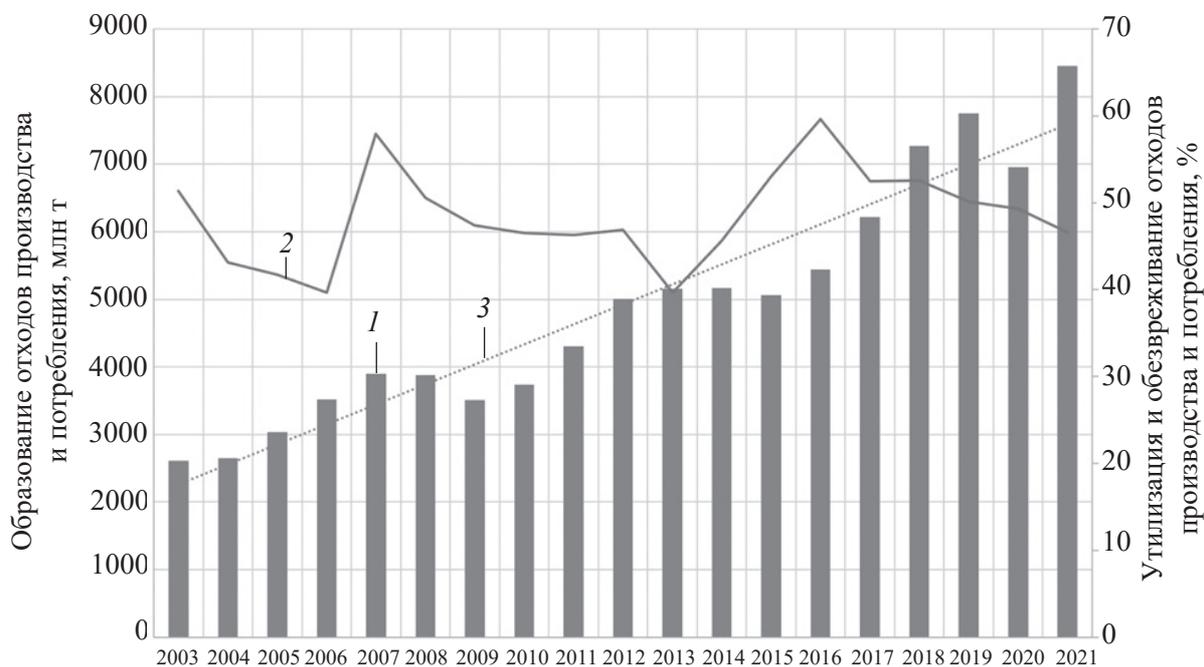


Рис. 1. Динамика образования и утилизации отходов производства и потребления в России: 1 – образование отходов производства и потребления, млн т; 2 – утилизация и обезвреживание отходов производства и потребления, %; 3 – линейная (образование отходов производства и потребления, млн т) (составлено по данным Росприроднадзора⁸)



Рис. 2. Пространственное распределение мусороперерабатывающих и мусоросортировочных комплексов (строящиеся и проектируемые инвестиционные проекты) (по данным портала B2B Global⁹)

⁸ Режим доступа к базам данных: <https://https.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> 2.05.2023.

⁹ Режим доступа: <https://bbgl.ru/maps/projects?> 23.11.2022.

точек образования отходов и приёма их на переработку (см. рис. 2), что приводит к высоким логистическим издержкам в цикле обращения (практически до 80 % в себестоимости переработки-утилизации). Поиск сосредоточен на выработке инновационных решений в пунктах накопления отходов (раздельный сбор, дотранспортная подготовка и др.). *Вторая* – доминирование импортного оборудования (60 %), что в условиях санкций и сложностей с логистикой может вызвать проблемы с устойчивостью и надёжностью функционирования комплексов. В России практически не развит рынок производителей специализированных комплексов по переработке¹⁰, технологические решения могут быть построены на интеграции неспециализированного российского оборудования в производственную линию. *Третья* (связанная со второй): создаваемые комплексы (см. наш анализ проектов на рис. 2) оборудуются проверенными практикой, но морально устаревшими технологиями переработки (сжигание, пиролиз, брикетирование, компостирование и др.). Для преодоления обозначенных сложностей необходимы поиск и внедрение морально новых, инновационных технологий обращения с отходами. Такая задача обозначена в стратегии формально – не отражена в виде количественных целевых индикаторов (ни в части бюджетов НИОКР, ни в части наукоёмкости, инновационности, венчурного финансирования стартапов).

В развитие научной дискуссии об инновациях в сфере обращения с отходами мы решили формализовать организационную модель и ответить на главный вопрос – о субъектах, генерирующих новые знания и решения, направленные на рост экономической эффективности перерабатывающих комплексов и создание платформы устойчивого развития городских агломераций. Решение задачи позволит участникам отрасли на предынвестиционном этапе промышленного строительства выбрать морально новую технологию, провести необходимый комплекс НИОКР и заложить её в основу процесса переработки отходов «умного города» в цикле эксплуатации с перспективой 10 лет.

Нами проведён *анализ научных публикаций* в целях выявления наличия тенденций становления рынка обращения с отходами на принципах концепции ЭЗЦ [1] и тренда на внедрение инноваций в цикл промышленной переработки. По результатам анализа выделены и классифицированы 5 актуальных направлений научного поиска в сфере внедрения инноваций в проекты строительства перерабатывающих объектов (табл. 2). *Традиционным направлением* является поиск экономически эффективной технологии переработки смешанных отходов и в разрезе фракций (с преобладающим вниманием к пластику). Большинство публикаций построено на обсуждении кейсов отдельных новых технологий переработки фракций с формулировкой их эффективности с позиции роста производительности или глубины переработки.

Например, PureCycle Technologies¹¹ разработал революционный процесс удаления цвета, запаха и загрязнений из полипропиленовых пластиковых отходов и превращения их в смолу, которая является основой для пластиковых изделий. К сожалению, лишь в незначительном количестве публикаций предлагается оценка экономического эффекта от внедрения инноваций в технологический цикл переработки. Анализ публикаций приводит к важному выводу: основной источник нового знания – это стартапы (малые инновационные предприятия). Многие авторы справедливо отмечают, что традиционные крупные НИИ (РТО в англоязычной трактовке соответствующего НИИ

¹⁰ На российском рынке комплексы по технологической переработке отходов представлены незначительным количеством производителей, в их числе Binology (Россия), НПО «Лаборатория экоэнергетики» (Россия), Shredwell (Китай), Proses Makina (Турция).

¹¹ Режим доступа: <https://www.purecycle.com> 12.04.2023.

Выявление тренда на интеграцию инноваций в цикле обращения отходов
(разработано авторами)

Направления (тип инноваций)	Авторы ¹²
Технологии переработки смешанных отходов и в разрезе фракций (технологические)	И. Г. Салимьянова [6]; А. Н. Задиранов и др. [7]; В. В. Филатов и др. [8]; N. K. Ehsan и др. [3]; А. Т. Gebremariam и др. [9]; G. Copani, и др. [4]; Nur Suhaimi и др. [10]; Yi Peng и др. [11]
Бизнес-модели и логистические решения (организационные)	Е. Ю. Присяч, О. А. Швецова [12]; П. А. Аверкин [13]; Li Chi и др. [14]; Md Islam и др. [15]; Zhu Wen [16]
Цифровые технологии (технологические, организационные)	Я. А. Балицкий и др. [17]; Н. В. Городнова [18]; Chetna Chauhan и др. [19]; Verma D. и др. [20]
Технологии полигонов (технологические)	В. П. Раклов [21]; Р. Н. Сафаров, Г. М. Ахмадиев [22]; Kundu A. и др. [23]; Li Qian и др. [24]
Технологии сортировки (технологические)	А. Е. Карелин и др. [25]; Н. Б. Мухамедова, Ш. М. К. Абдукаримова [26]; Agbehadji Israel и др. [27]; Zhao Yue, Li Jia [28]

субъекта) выполняют, как правило, цикл ОКР по заказу инвестора, адаптируя устаревшую, но проверенную технологию под специфику конкретного строительного объекта. По нашей экспертной оценке, источником более 80 % новых технологических решений являются стартапы при незначительной конверсии (менее 10 % – оценка наша) их разработок в проектные решения. Объяснение простое: инвесторы обращаются в НИИ (RTO) для получения комплексного проекта НИОКР, а последние предлагают проверенные, но морально устаревшие технологии (контур 1 на рис. 3).

Второе направление мы определяем как блок организационных инноваций, выражающихся в разработке новых бизнес-моделей (смарт-моделей) и логистических решений в обращении с отходами, большинство из которых порождено парадигмой «умного города». Данное, относительно молодое в научной дискуссии, направление ориентировано на поиск путей снижения издержек в цикле обращения за счёт «сближения точек сбора и переработки», сокращения маршрутов транспортировки, подходов к предварительной обработке (сортировке) в местах накопления отходов и др. Актуальность смарт-подходов обусловлена стагнацией на пути к технологическому прорыву в переработке, и учёные ищут подходы к снижению организационных издержек в цикле обращения.

Третье направление – повышение эффективности обращения с отходами за счёт использования информационно-коммуникационных (цифровых) технологий. Пока предлагаются только концептуальные подходы к использованию технологий big data, распределённого реестра (блокчейн) и интернета вещей (IoT). Несмотря на привлекательность идей и их технико-организационную определённость, оценить экономическую эффективность таких решений на настоящем этапе трудно. Более того, на наш взгляд, в реализации цифровых подходов сложно выделить в экономическом смысле инвестора и бенефициаров.

Направления 4 и 5 можно охарактеризовать как попытки решить проблемы сортировки и полигонов захоронения. Ключевым является вопрос поиска инновацион-

¹² Выборка авторов не претендует на полноту библиографического обзора.

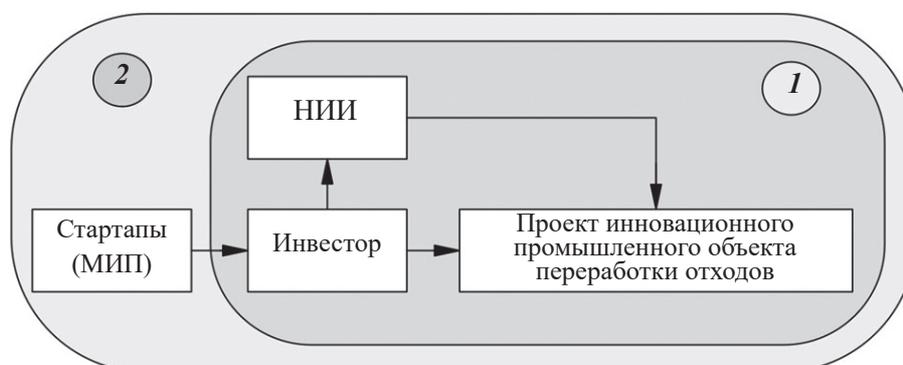


Рис. 3. Взаимодействие субъектов в проектировании промышленных объектов переработки отходов (разработано нами): 1 – актуальный цикл взаимодействия; 2 – перспективный цикл взаимодействия

ных технологий рециклинга накопленных отходов на «старых» полигонах. К сожалению, пока нет новых технологий, отвечающих концепции ЭЗЦ. Доминируют нерыночные решения: «заказчик-инвестор» – государство; технология обращения – морально устаревшая. При такой позиции не остаётся места для стартапов и новых технологий.

Таким образом, выделяемую нами *проблему* можно сформулировать как стагнацию технологического, а как следствие – и экономического, развития комплексов обращения с отходами в силу невовлечённости в цикл проектирования носителей инновационных идей и разработок – стартапов (малых инновационных предприятий).

Цель и метод исследования. Нами формулируется *гипотеза*: включение в цикл проектирования (см. контур 2 на рис. 3) строительных объектов переработки отходов стартапов (малых инновационных предприятий) повысит уровень моральной новизны технологий переработки и, как следствие, экономической эффективности эксплуатации объектов.

Задача оценки инновационного потенциала технологий сбора и переработки отходов – определение наличия тенденции формирования профильных стартапов. Состоятельность гипотезы может быть *подтверждена* при выявлении значимого количества активных стартапов в сфере обращения отходов. Мы выбрали *метод кейс-стади* для выявления наличия и направленности технологий в стартапах.

Результаты исследования (кейс-стади). К сожалению, в зарубежных и российских публикациях отсутствует информация о локальных (по странам) и агрегированных объёмах инвестирования в НИОКР в сфере обращения с отходами. Как показывает практика, данные расходы относятся на НИОКР различных направлений (химия, инженерия, биотехнологии, организационные инновации и др.). В зарубежной литературе данное направление классифицируется как самостоятельное (CleanTech) и объединяет мульти- и междисциплинарные исследования. Действительно, любая технология относится к академической предметной области, а технологии обращения с отходами не объединены в самостоятельное направление прикладных исследований. Анализ тендеров¹³, проводимых национальными государственными корпорациями

¹³ Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/> 3.05.2023.

в 2017–2022 гг., показывает (табл. 3), что заказы (суммы контрактов от 8 до 300 млн рублей) на НИОКР сосредоточены в области переработки опасных отходов промышленности и ТЭК (например, Росатом).

Таблица 3

Фрагмент анализа структуры тендеров на НИОКР в 2020–2022 гг.
(составлено авторами)

Тема НИОКР	Цена контракта, тыс. р.	Заказчик
Выполнение комплекса исследований по отверждению отходов в МКФ матрицу. Научно-техническое сопровождение работ по созданию опытной установки и проведению исследований с использованием имитаторов ВАО	40000	ФГУП Горно-химический комбинат
Разработка и обоснование вариантов переработки высокоактивных отходов сложного химического состава, включая ОКР и опытно-промышленные испытания оборудования	229168	Росатом
Корректировка технических решений по роботизации технологических участков модуля переработки отработавшего ядерного топлива и комплекса переработки радиоактивных отходов	68200	АО «Прорыв»
Разработка и изготовление макетных и демонстрационных образцов узлов установки переработки отходов, содержащих ионообменные смолы (в том числе радиоактивные), и установки в целом	78300	ГНЦРФ ФЭИ им. Лейпунского

Не обнаружено тендеров на НИОКР в сферах технологии сбора, утилизации и вторичной переработки бытовых отходов, организационных новаций. Поступления от экосбора в России весьма незначительны (5235 млн рублей в 2021 г. с учётом почти 100 %-ного роста за последние годы – данные Росприроднадзора). Они могут компенсировать только часть затрат на переработку отходов потребления, не говоря уже о проведении полнопрофильных НИОКР – от прикладного принципа до инженерного проекта (если исходить из того, что комплексная НИР (без учёта ОКР и опытных установок) по переработке одной фракции составляет минимум 40 млн рублей¹⁴). Следовательно, экосбор на настоящем этапе не может рассматриваться как источник фондирования исследований и разработок в сфере вторичного обращения.

Косвенным свидетельством активности исследований в данном направлении может служить оценка численности патентов, зарегистрированных по направлению рециклинга (переработки отходов во вторичное сырьё) – 135828, по данным Google Patents¹⁵, и 290439 – WIPO¹⁶. Спектр организационных и технологических решений, предлагаемых в патентах, очень широк: от устройства мусорных контейнеров до организационных моделей транспортировки и переработки отходов. Предлагаются и комплексные решения – от организации пункта сбора отходов до процесса их переработки (например, US9098884B2). То есть, патентный анализ указывает на наличие объектов интеллектуальной собственности, созданных стартапами и профильными НИИ (RTO).

¹⁴ Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/> 3.04.2023.

¹⁵ Режим доступа: <https://patents.google.com/> 3.12.2022.

¹⁶ Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int> 3.12.2022.

Перейдём от ретроспективного к актуальному анализу на основании собранных нами кейсов инновационных стартапов в сфере технологий обращения с отходами. *Классификация* кейсов стартапов построена на направлениях инновационного развития в системе управления отходами, выдвинутых StartUs Insights 2022 г.¹⁷ (табл. 4). Практическую востребованность стартапов можно оценить через относительный интегральный эффект от вклада направления в инновационное развитие технологий обращения с отходами.

Таблица 4

Направления инновационной активности в сфере управления обращением с отходами и актуальные инновационные стартапы на стадиях seed (public beta) – startup

Направление	E*	Содержание	Инновационные стартапы (выборочный список)
Интернет отходов (IoT)	32	Использование технологий интернет вещей (IoT)	Bintel (Швеция), Smartbin.io (США), Wasteout (Россия, «Уэйстаут») – датчики уровня наполнения отходов мест первичного и транзитного сбора
Химическая переработка (CHR)	23	Технологии химического обезвреживания и переработки отходов	Refiberd (США) – переработка текстиля; Plastic Back (Израиль) – окисление пластмасс; «Виротех» (Россия, В. Качура), Aurora Borealis (Россия, А. Климов) – обезвреживание; ОБВОТЕС (Нидерланды) – переработка пластика с использованием технологии растворения SPEX; «Puraloop» (Китай) – обработка и восстановление опасных производственных отходов, не подлежащих вторичной переработке; «GINKGO bioworks» (США) – биороботы переработки пластика
Роботы (RR)	10	Роботизация процессов сбора, транспортировки и переработки отходов	2B0 (США), Sortera Alloys (США) – роботизация сортировки и переработки; Urso Robotics (Великобритания) – автономные транспортные средства для сбора отходов; Recycleye (Великобритания) – автоматизация сортировки
Валоризация отходов (VW)	9	Способы восстановления материалов или переработки отходов в продукты потребления	SBS Thermal Technologies (Испания), Avris Environment Technologies (Индия) – технология очистки пищевых отходов для вторичного использования; Fineplastic (Россия) – сбор и переработка пластика
Искусственный интеллект (AI)	8	Использование инфокоммуникационных технологий (хард и софт) в системе обращения отходов	BANQloop (США), TrashBack (Россия) – интеллектуальная система управления обращением с отходами; Plastic Bank (Канада) – блокчейн-технология очистки мирового океана от пластикового мусора; Greyparrot (Великобритания) – автоматизированный анализ отходов; Recyclflux (Бельгия) – отслеживание пластика в воде

¹⁷ <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/recycling-technology-trends-innovation/>.

Направление	E*	Содержание	Инновационные стартапы (выборочный список)
Управление биотоходами (BLOW)	8	Утилизация, переработка и валоризация биологических отходов	BicyCompost (Франция), Biovert Protein (Таиланд), «Энтопротэк» (Россия) – биоконверсия пищевых отходов в корма для животных; «Эковывоз» (Россия, Г. Берлизов), «АгроКомпост» (Россия) – биоконверсия пищевых отходов в компост; Spawn (Россия) – технология переработки отходов с помощью грибов
Продление жизненного цикла материала (LCP)	6	Технологические, логистические и коммуникационные решения вторичного использования отходов	Ever Resource (Великобритания) – переработка и восстановление свинцово-кислотных аккумуляторов; Fili Pari (Испания) – конверсия в текстиль и композитные ткани; Li-Cycle (Канада) – переработка аккумуляторов
Большие данные (BD)	4	Использование аппаратно-программных комплексов, построенных на больших данных, для управления обращением с отходами	Waste Labs (Сингапур) – логистика; Recyda (Германия) – цикл сбора и переработки упаковки; «Убирастор» (Россия, Н. Никишкин, А. Хацкевич), «Чисто-Чисто» (Россия, А. Бурдин), «Реактор» (Сибур) – агрегатор на принципах Uber; Circulor (Великобритания) – пакет технологий для отслеживания процесса переработки отходов

* E – относительный интегральный эффект от вклада направления в систему управления отходами – по данным StartUs Insights 2022 г. (разработано авторами).

Представленные в табл. 4 данные показывают наличие поля инновационных стартапов на стадиях seed (посевная) в сфере обращения отходов. Мы определили их (стартапы) как источник новых знаний и технологий в контуре проектирования и строительства объектов переработки (см. рис. 3). Это *подтверждает нашу гипотезу* о необходимости изменения организации цикла проектирования объектов переработки (см. контур 2 на рис. 3): а) инвестор выбирает стартап, профильный планируемому объекту, и приобретает права на него; б) инвестор передаёт профильному НИИ нематериальные активы, объекты интеллектуальной собственности стартапа для доработки (ОКР) до уровня законченной технологии; в) полученную от НИИ технологию переработки инвестор включает в цикл проектирования строительного объекта. Предлагаемый подход направлен на увеличение конверсии в инновационной воронке, внедрение экономически эффективной технологии в цикл обращения с отходами и в конечном итоге формирует систему ЭЗЦ в рамках зелёной повестки «умного города».

Выводы

Выявлено значительное количество малых инновационных предприятий в сфере обращения с отходами, которые могут стать платформой внедрения морально новых технологий переработки в строительстве профильных объектов.

По результатам исследования сформулировано предложение об интеграции стартапов в систему проектирования новых объектов переработки, что создаёт предпосылку формирования *зелёной повестки «умного города»*, платформы устойчивого развития экологичной и экономически эффективной системы обращения с отходами.

Список литературы

1. Martin Geissdoerfer, Marina P. P. Pieroni, Daniela C. A. Pigosso, Khaled Soufani, Circular business models: A review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 277, 2020, 123741, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.
2. *Алексеев, А. А.* Переработка отходов – инновационный сегмент промышленности / А. А. Алексеев. – СПб.: Известия СПбГЭУ. – 2014. – № 3 (87). – С. 17–24.
3. Ehsan Naderi Kalali, Saeid Lotfian, Marjan Entezar Shabestari, Saber Khayatzadeh, Chengshou Zhao, Hamed Yazdani Nezhad & A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Volume 40, 2023, 100763, [//doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763](https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763).
4. Copani, G., Picone, N., Colledani, M., Pepe, M., Tasora, A. (2019). Highly Evolvable E-waste Recycling Technologies and Systems. In: Tolio, T., Copani, G., Terkaj, W. (eds) *Factories of the Future*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319->
5. *Ратнер, С. В.* Факторы развития циркулярной экономики / С. В. Ратнер // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 430 – 447.
6. *Салимьянова, И. Г.* Экологические инновации как перспективный тренд развития систем управления природопользованием / И. Г. Салимьянова // *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. – 2022. – № 1 (133). – С. 79–84.
7. *Задиранов, А. Н.* Перспективы применения современных технологий при переработке строительных отходов / А. Н. Задиранов, М. Ю. Малькова, Т. Н. Нурмагомедов, П. Дхар // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. – 2017. – Т. 18, № 2. – С. 236–244.
8. *Филатов, В. В.* Рециклинг полимерных отходов производства и потребления на основе биотехнологических инноваций / В. В. Филатов, И. М. Рукина, В. И. Голованов // *Муниципальная академия*. – 2018. – № 3. – С. 135–142.
9. Gebremariam, A. T., Di Maio, F., Vahidi, A., & Rem, P. (2020). Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, [104911]. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104911>.
10. Suhaimi, Nur & Muhamad, Farina & Abd Razak, Nasrul Anuar & Zeimaran, Ehsan. (2022). Recycling of polyethylene terephthalate wastes: A review of technologies, routes, and applications. *Polymer Engineering & Science*. 62. [10.1002/pen.26017](https://doi.org/10.1002/pen.26017).
11. Peng, Yi & Prabhu, Apoorva & Rinke, Chris. (2023). Facing our plastic waste crisis: biorecycling as a promising solution. *Microbiology Australia*. 44. [10.1071/MA23013](https://doi.org/10.1071/MA23013).
12. *Присяч, Е. Ю.* Элементы инновационного сценария развития системы обращения с отходами в РФ / Е. Ю. Присяч, О. А. Швецова // *Управление муниципальными отходами как важный фактор устойчивого развития мегаполиса*. – 2018. – № 1. – С. 235–239.
13. *Аверкин, П. А.* Новые технологии утилизации отходов и проблема роста тарифов / П. А. Аверкин // *Инновации*. – 2021. – № 2 (268). – С. 24–29.
14. Li, Chi & Lee, Tsz & Lau, Stephen. (2023). Enhancement of Municipal Solid Waste Management in Hong Kong through Innovative Solutions: A Review. *Sustainability*. 15. [3310. 10.3390/su15043310](https://doi.org/10.3390/su15043310).
15. Islam, Md & Iyer-Raniga, Usha & Trewick, Sean. (2022). Recycling Perspectives of Circular Business Models: A Review. *Recycling*. 7. [10.3390/recycling7050079](https://doi.org/10.3390/recycling7050079).

16. Zhu, Wen. (2022). Research on the evaluation method of the business model for the recycling of hazardous waste in power grid. *Advances in Engineering Technology Research*. 1. 241. 10.56028/aetr.1.1.241.
17. Балицкий, Я. А. Сортировка твердых коммунальных отходов с применением IT-технологий / Я. А. Балицкий, В. Г. Петров, Д. А. Ханнанов // *Наука Удмуртии*. – 2018. – № 4 (86). – С. 20–22.
18. Городнова, Н. В. Применение искусственного интеллекта в проектах «smart-экология» / Н. В. Городнова // *Дискуссия*. – 2021. – № 2-3 (105-106). – С. 34–48.
19. Chetna Chauhan, Vinit Parida, Amandeep Dhir, Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 177, 2022.
20. Verma, Deepak & Okhawilai, Manunya & Dalapati, Goutam & Ramakrishna, Seeram & Sharma, Abhishek & Sonar, Prashant & Krishnamurthy, Satheesh & Biring, Sajal & Sharma, Mohit. (2022). Blockchain technology and AI -facilitated polymers recycling: Utilization, realities, and sustainability. *Polymer Composites*. 43. 10.1002/pc.27054.
21. Раклов, В. П. Методы использования гис-технологий при контроле состояния полигонов твердых бытовых отходов / В. П. Раклов // *Велес*. – 2017. – № 2-1 (44). – С. 65–71.
22. Сафаров, Р. Н. Разработка технологии переработки накопленных отходов в России / Р. Н. Сафаров, Г. М. Ахмадиев // *Бюллетень науки и практики*. – 2017. – № 11 (24). – С. 221–226.
23. Kundu, Ashmita & Reddy, Chejarla & Kumar Singh, Ratnesh & Kalamdhad, Ajay. (2023). Critical review with science mapping on the latest pre-treatment technologies of landfill leachate. *Journal of environmental management*. 336. 117727. 10.1016/j.jenvman.2023.117727.
24. Li, Qian & Cui, Hanlin & Li, Yihao & Song, Xin & Liu, Wenzong & Wang, Yongxuan & Hou, Haimeng & Zhang, Hongbo & Li, You & Wang, Fan & Song, Jun & Ye, Hanfeng & Song, Sirui & Che, Tong & Shao, Shuai & Kong, Deyong & Liang, Bin. (2023). Challenges and engineering application of landfill leachate concentrate treatment. *Environmental Research*. 231. 116028. 10.1016/j.envres.2023.116028.
25. Карелин, А. Е. Система распознавания объектов для сортировки твердых бытовых отходов / А. Е. Карелин, А. В. Кожемяченко, М. А. Лемешко // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 6 (90). – С. 824–833.
26. Мухамедова, Н. Б. Анализ современных технологий сортировки твердых бытовых отходов / Н. Б. Мухамедова, Ш. М. К. Абдукаримова // *Достижения науки и образования*. – 2019. – № 13 (54). – С. 15–16.
27. Agbehadji, Israel & Abayomi, Taofeek & Bui Khac Hoai, Nam & Millham, Richard & Freeman, Emmanuel. (2022). Nature-Inspired Search Method and Custom Waste Object Detection and Classification Model for Smart Waste Bin. *Sensors*. 22. 6176. 10.3390/s22166176.
28. Zhao, Yue & Li, Jia. (2022). Sensor-Based Technologies in Effective Solid Waste Sorting: Successful Applications, Sensor Combination, and Future Directions. *Environmental Science & Technology*. 56. 10.1021/acs.est.2c05874.

Referance

1. Martin Geissdoerfer, Marina P. P. Pieroni, Daniela C. A. Pigosso, Khaled Soufani, Circular business models: A review, *Journal of Cleaner Production*, Volume 277, 2020, 123741, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.

2. Alekseev A. A. Waste recycling is an innovative segment of the industry. St. Petersburg: Proceedings of St. Petersburg State University of Economics, No. 3 (87), 2014. p. 17–24.
3. Ehsan Naderi Kalali, Saeid Lotfian, Marjan Entezar Shabestari, Saber Khayatzadeh, Chengshou Zhao, Hamed Yazdani Nezhad & A critical review of the current progress of plastic waste recycling technology in structural materials, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Volume 40, 2023, 100763, ISSN 2452-2236, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100763>.
4. Copani, G., Picone, N., Colledani, M., Pepe, M., Tasora, A. (2019). Highly Evolvable E-waste Recycling Technologies and Systems. In: Tolio, T., Copani, G., Terkaj, W. (eds) *Factories of the Future*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319->
5. Ratner S. V. Factors in the development of the circular economy // *Financial analytics: problems and solutions*. 2020. T. 13, No 4. S. 430–447.
6. Salimyanova I. G. Ecological innovations as a promising trend in the development of environmental management systems. *Proceedings of the St. Petersburg State University of Economics*. 2022. No. 1 (133). pp. 79–84.
7. Zadiranov A. N., Malkova M. Yu., Nurmagomedov T. N., Dkhar P. Prospects for the use of modern technologies in the processing of construction waste. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering research*. 2017. V. 18. No. 2. S. 236–244.
8. Filatov V. V., Rukina I. M., Golovanov V. I. Recycling of polymer waste from production and consumption based on biotechnological innovations. *Municipal Academy*. 2018. No. 3. S. 135–142.
9. Gebremariam, A. T., Di Maio, F., Vahidi, A., & Rem, P. (2020). Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, [104911]. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104911>
10. Suhaimi, Nur & Muhamad, Farina & Abd Razak, Nasrul Anuar & Zeimaran, Ehsan. (2022). Recycling of polyethylene terephthalate wastes: A review of technologies, routes, and applications. *Polymer Engineering & Science*. 62. [10.1002/pen.26017](https://doi.org/10.1002/pen.26017).
11. Peng, Yi & Prabhu, Apoorva & Rinke, Chris. (2023). Facing our plastic waste crisis: biorecycling as a promising solution. *microbiology australia*. 44. [10.1071/MA23013](https://doi.org/10.1071/MA23013).
12. Prisyach E. Yu., Shvetsova O. A. Elements of an innovative scenario for the development of the waste management system in the Russian Federation. *Municipal waste management as an important factor in the sustainable development of the metropolis*. 2018. No. 1. S. 235–239.
13. Averkin P. A. New waste disposal technologies and the problem of rising tariffs. *Innovation*. 2021. No. 2 (268). pp. 24–29.
14. Li, Chi & Lee, Tsz & Lau, Stephen. (2023). Enhancement of Municipal Solid Waste Management in Hong Kong through Innovative Solutions: A Review. *Sustainability*. 15. 3310. [10.3390/su15043310](https://doi.org/10.3390/su15043310).
15. Islam, Md & Iyer-Raniga, Usha & Trewick, Sean. (2022). Recycling Perspectives of Circular Business Models: A Review. *Recycling*. 7. [10.3390/recycling7050079](https://doi.org/10.3390/recycling7050079).
16. Zhu, Wen. (2022). Research on the evaluation method of the business model for the recycling of hazardous waste in power grid. *Advances in Engineering Technology Research*. 1.241. [10.56028/aetr.1.1.241](https://doi.org/10.56028/aetr.1.1.241).
17. Balitsky Ya. A., Petrov V. G., Khannanov D. A. Sorting of municipal solid waste using IT technologies. *Science of Udmurtia*. 2018. No. 4 (86). pp. 20–22.
18. Gorodnova N. V. The use of artificial intelligence in smart ecology projects. *Discussion*. 2021. No. 2-3 (105-106). pp. 34–48.

19. Chetna Chauhan, Vinit Parida, Amandeep Dhir, Linking circular economy and digitalization technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 177, 2022.

20. Verma, Deepak & Okhawilai, Manunya & Dalapati, Goutam & Ramakrishna, Seeram & Sharma, Abhishek & Sonar, Prashant & Krishnamurthy, Satheesh & Biring, Sajal & Sharma, Mohit. (2022). Blockchain technology and AI -facilitated polymers recycling: Utilization, realities, and sustainability. *polymer composites*. 43. 10.1002/pc.27054.

21. Raklov V. P. Methods of using GIS technologies in monitoring the state of solid waste landfills. *Veles*. 2017. No. 2-1 (44). pp. 65–71.

22. Safarov R. N., Akhmadiev G. M. Development of technology for processing accumulated waste in Russia. *Bulletin of science and practice*. 2017. No. 11 (24). pp. 221–226.

23. Kundu, Ashmita & Reddy, Chejarla & Kumar Singh, Ratnesh & Kalamdhad, Ajay. (2023). Critical review with science mapping on the latest pre-treatment technologies of landfill leachate. *Journal of environmental management*. 336.117727.10.1016/j.jenvman.2023.117727.

24. Li, Qian & Cui, Hanlin & Li, Yihao & Song, Xin & Liu, Wenzong & Wang, Yongxuan & Hou, Haimeng & Zhang, Hongbo & Li, You & Wang, Fan & Song, Jun & Ye, Hanfeng & Song, Sirui & Che, Tong & Shao, Shuai & Kong, Deyong & Liang, Bin. (2023). Challenges and engineering application of landfill leachate concentrate treatment. *environmental research*. 231.116028.10.1016/j.envres.2023.116028.

25. Karelin A. E., Kozhemyachenko A. V., Lemeshko M. A. Object recognition system for sorting municipal solid waste. *Don Engineering Gazette*. 2022. No. 6 (90). pp. 824–833.

26. Mukhamedova N. B., Abdugarimova Sh.M.K. Analysis of modern technologies for sorting municipal solid waste. *Achievements of science and education*. 2019. No. 13 (54). pp. 15–16.

27. Agbehadji, Israel & Abayomi, Taofeek & Bui Khac Hoai, Nam & Millham, Richard & Freeman, Emmanuel. (2022). Nature-Inspired Search Method and Custom Waste Object Detection and Classification Model for Smart Waste Bin. *Sensors*. 22.6176.10.3390/s22166176.

28. Zhao, Yue & Li, Jia. (2022). Sensor-Based Technologies in Effective Solid Waste Sorting: Successful Applications, Sensor Combination, and Future Directions. *Environmental Science & Technology*. 56. 10.1021/acs.est.2c05874.

V. A. Koshcheev¹⁸, A. A. Alekseev¹⁹, V. A. Alexandrova²⁰. Construction of Industrial Waste Processing Facilities: The Prospect of Introducing Innovative Technologies. In this publication, the authors develop a scientific discussion about technological and organizational innovations in the field of waste management, which make it possible to implement the principles of the “circular economy” concept. The identified problems are formulated as the stagnation of the technological, and as a result, the economic development of the waste management system due to the lack of involvement

¹⁸ *Vadim A. Koshcheev*, Professor of the Department of Economics of Construction and Housing and Public Utilities, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (2nd Krasnoarmeyskaya st., 4, St. Petersburg, 190005, Russia), Doctor of Economics, Professor, npmos@bk.ru

¹⁹ *Andrey A. Alekseev*, Professor of the Department of Economics and Management of Enterprises and Production Complexes, Saint Petersburg State University of Economics (emb. Griboedov Canal, 30-32, letter A, St. Petersburg, 191023, Russia), Doctor of Economics, professor, idc@unecon.ru

²⁰ *Valeria A. Alexandrova*, student of the Faculty of Management, Saint Petersburg State University of Economics emb. (Griboedov Canal, 30-32, letter A, St. Petersburg, 191023, Russia), valeriy_a@list.ru

in the cycle of technological and construction design of carriers of (radical) innovative ideas and developments - start-ups (innovative entrepreneurs). The task of assessing the innovative potential of technologies for the collection and processing of waste, reflected through the proven (by the case-study method) trend of the formation of specialized start-ups, has been posed and solved. A conclusion is made and a proposal is formulated: the inclusion of start-up waste processing in the design cycle of construction objects will affect the level of moral novelty of processing technologies and, as a result, the economic efficiency of the operation of facilities.

Keywords: economics of construction, economics of industry, innovations, small innovative enterprises, waste management, secondary raw materials.