

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

## URBAN PLANNING, PLANNING OF RURAL SETTLEMENTS



УДК 628.477:69:658.7:004.9

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-73-82>

### Организационно-технологическая модель управления строительными отходами в условиях плотной городской застройки



EDN: KXGVJY

Н.В. Розанцева  , М.Р. Сагитдинов 

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 [nrozanceva@lan.spbgasu.ru](mailto:nrozanceva@lan.spbgasu.ru)

#### Аннотация

**Введение.** Исследование посвящено разработке эффективных методик управления строительными отходами на площадках жилой застройки в условиях плотной городской застройки. Предложены инновационные подходы к обращению с отходами, включающие отдельный сбор, цифровизацию процессов и современные технологии первичной обработки, соответствующие требованиям экологии и ресурсосбережения.

**Материалы и методы.** Исследование проведено методом укрупнённых расчётов объёма отходов на примере реального объекта жилищного строительства площадью 20 тыс. м<sup>2</sup>. Оценка проведена на основе распределения отходов по категориям и стадиям производства (земляные работы, монолит, монтаж, инженерные сети, отделка, благоустройство). Используются усреднённые коэффициенты образования отходов и плотности материалов, позволяющие рассчитать итоговую массу каждой фракции. Проведен сравнительный анализ двух сценариев логистики: традиционного (сбор всех отходов вместе и отправка на полигон) и инновационного (отдельный сбор, предобработка на площадке, приоритет переработки и цифровой учёт).

**Результаты исследования.** Показан существенный экономический и экологический эффект от внедрения инновационного подхода к управлению строительными отходами. По сравнению с базовым сценарием («смешанный сбор → полигон»), инновационная схема («отдельный сбор + обработка на площадке + приоритет переработки + цифровая регистрация») обеспечивает снижение объёмов захоронения на 51 %, уменьшение транспортного трафика на 50 %. Ключевым параметром успеха являются объёмы повторного использования грунта, что снижает массу перерабатываемых отходов и количество рейсов самосвалов почти вдвое. Финансовая выгода дополняется возможностью коммерческой реализации вторичных ресурсов и внедрением цифровых инструментов контроля. Результаты представлены в таблицах, демонстрирующих месячную динамику образования отходов. Даны рекомендации по контейнеризации и оценке влияния допущений на итоговые показатели.

**Обсуждение и заключение.** Разработана методика управления строительными отходами, сокращающая объём захоронения, транспортную нагрузку и обеспечивающая экономию за счёт оптимизации переработки на месте. Обеспечено повышение уровня вторичного использования и эффективной первичной обработки отходов.

**Ключевые слова:** строительные отходы, управление отходами, сортировка отходов, переработка, цифровые платформы, мобильные сортировочные комплексы

**Для цитирования.** Розанцева Н.В., Сагитдинов М.Р. Организационно-технологическая модель управления строительными отходами в условиях плотной городской застройки. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2026;5(2):73–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-73-82>

## An Organizational and Technological Model for Construction Waste Management in Dense Urban Development

Nadezhda V. Rozantseva ✉, Maksim R. Sagitdinov 

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation

✉ [nrozanceva@lan.spbgasu.ru](mailto:nrozanceva@lan.spbgasu.ru)

### Abstract

**Introduction.** The research is devoted to developing effective methods for managing construction waste on residential sites in dense urban areas. Innovative approaches to waste management are set forth, including separate collection, digitalization of processes and modern primary treatment technologies in compliance with the requirements of ecology and resource conservation.

**Materials and Methods.** The study was conducted using the method of aggregated calculations of waste volume using the example of an actual housing construction facility with an area of 20,000 m<sup>2</sup>. The assessment was performed based on the distribution of waste by categories and stages of production (excavation, monolith, installation, engineering networks, finishing, landscaping). The average coefficients of waste generation and material density were used in order to calculate the total mass of each fraction. A comparative analysis of two logistics scenarios was carried out: a traditional one (collecting all waste together and sending it to the landfill) and an innovative one (separate collection, on-site pre-treatment, recycling priority and digital accounting).

**Research Results.** The significant economic and environmental effect of the introduction of an innovative approach to construction waste management is indicated. Compared to the basic scenario ("mixed collection → landfill"), the innovative scheme ("separate collection + on-site processing + recycling priority + digital registration") provides a 51% reduction in landfill volumes and a 50% reduction in traffic. The major success parameter is the volume of soil reuse, which reduces the mass of recyclable waste and the number of dump truck trips by almost a half. The financial benefit is complemented by the possibility of commercial sales of secondary resources and introducing digital control tools. The results are presented in tables displaying the monthly dynamics of waste generation. Recommendations on containerization and assessment of the impact of the assumptions on the final indicators are provided.

**Discussion and Conclusion.** A construction waste management methodology has been developed that reduces the volume of disposal, transport load and provides savings by optimizing on-site recycling. An increase in the level of secondary use and effective primary waste treatment has been ensured.

**Keywords:** construction waste, waste management, waste sorting, recycling, digital platforms, mobile sorting complexes

**For citation.** Rozantseva NV, Sagitdinov MR An Organizational and Technological Model of Construction Waste Management in Dense Urban Development. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(2):73–82. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-73-82>

**Введение.** Актуальность проведенного исследования определяется масштабностью проблемы образования значительных объемов строительных отходов, характерной для современного городского строительства, особенно в условиях ограниченной площади застройки крупных городов. Высокая интенсивность строительной деятельности порождает большие объемы строительного мусора, создавая значительную нагрузку на окружающую среду и инфраструктуру городов. Современные города сталкиваются с необходимостью эффективного решения вопросов рационального обращения с отходами вследствие нехватки мест для временного хранения и складирования отходов, повышения требований к охране окружающей среды и устойчивого развития [4, 5].

Современная градостроительная политика направлена на развитие экономики замкнутого цикла, предусматривающего значительное увеличение уровня переработки строительных материалов (до 40 % к 2030 г.) [4, 11]. Это ставит перед строителями серьезные задачи по разработке новых подходов к управлению отходами, включая внедрение инновационных технологий и практик [5, 12].

Таким образом, данное исследование решает проблему разработки комплексной стратегии обращения со строительными отходами, нацеленной на снижение экологической нагрузки, повышение ресурсосбережения и улучшение организационно-технологических подходов к управлению отходами на объектах строительства. [2–4].

Объектом исследования является организация процесса обращения с отходами на строительной площадке многоэтажного жилого здания в условиях плотного расположения строений в городе. Предмет исследования — инновационные методики сбора, классификации, обработки и последующей утилизации строительных отходов на конкретных объектах строительства.

Цель работы: обоснование и разработка действенных решений по оптимизации управления строительными отходами при возведении многоэтажных жилых зданий в условиях плотной городской застройки, включающих современные технологии сортировки и переработки, соответствующие экологическим нормам и ограничениям городской среды.

Для реализации указанной цели были сформулированы следующие исследовательские задачи:

1. Изучение законов и нормативов, регулирующих обращение с отходами на городских стройплощадках.
2. Анализ видов и объемов отходов, образующихся на каждом этапе строительства жилого дома.
3. Исследования современных методов сбора, сортировки и переработки строительных отходов, включая цифровое управление и мобильную первичную обработку.
4. Разработка практических рекомендаций по улучшению утилизации отходов при строительстве жилья в плотной городской застройке.

Городская застройка характеризуется значительным объемом строительных отходов, формирующихся в стесненных условиях, при строгих ограничениях по уровню шума и движения транспорта, а также дефицитом возможностей для их размещения [5, 8]. Традиционный метод вывоза несортированного мусора ведет к увеличению транспортных расходов, экологическим рискам и простоям на стройплощадках [5].

Основные типы строительных отходов включают:

- демонтажные отходы (бой кирпича, бетона, обломки конструкций);
- отходы земляных работ (лишний грунт, песчано-гравийные смеси);
- отходы возведения конструкций (бетонные крошки, куски арматуры, упаковки);
- отделочные отходы (обрезки плитки, гипсокартона, остатков лакокрасочной продукции).

Управление этими потоками усложняется особенностями городской застройки: нехваткой пространства, жесткими правилами транспортировки и ограничениями по режиму работ [5, 8]. Для соблюдения установленных норм необходим четкий регламент уборки, раздельного сбора и оперативной утилизации отходов, минимизирующей негативное воздействие на городскую среду и снижающей расходы застройщика [2].

Цифровая система учёта отходов помогает автоматизировать мониторинг и повысить прозрачность обращения с ними [5, 12]. Пример московской АИС «ОССиГ» демонстрирует эффективность автоматического трекинга рейсов самосвалов с помощью GPS-датчиков и электронного документооборота [8]. Система фиксирует движение грузов и пункт доставки, предотвращая незаконный выброс мусора и обеспечивая соблюдение экологических стандартов.

Коммерческие решения расширяют функциональность, предлагая IoT-технологии (датчики наполненности контейнеров, весовые сенсоры техники), повышая точность планирования маршрутов и сокращая затраты на логистику [10, 12]. Электронные маркетплейсы позволяют обмениваться пригодными для повторной переработки материалами между объектами, уменьшая общий объем отходов [11].

Экологическая значимость вопроса подчеркивается статистикой: строительные отходы составляют примерно 30 % от общего объема твердых коммунальных отходов, что свидетельствует о важности учета такого объема мусора. Масштабная городская реконструкция и новый жилищный фонд ежегодно требуют решения задачи по утилизации тысяч тонн стройматериалов [1, 4]. Вместе с тем переработанные строительные отходы представляют собой ценный источник вторсырья, необходимого промышленности [2, 9].

Повышенные государственные требования закреплены Федеральным законом от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», согласно которому предусмотрены нормы обращения с отходами, включая контроль над движением строительного мусора. Региональные органы активно вводят систему мониторинга перемещения отходов от площадки до полигонов, борясь с нелегальным сбросом и несанкционированными свалками [5, 8].

Таким образом, создание модели управления строительными отходами, объединяющей раздельный сбор, предварительную обработку на месте и эффективную логистику, становится необходимым условием соответствия современным экологическим стандартам, снижения нагрузки на полигоны и экономии природных ресурсов [2, 5, 9].

Исследование сосредоточено на анализе составов и объемов строительных отходов, возникающих на разных этапах строительства жилого дома в условиях плотной городской застройки [3, 5]. Рассматриваются базовые и усовершенствованные схемы обращения с отходами, разрабатываются организационно-технические процедуры (графики контейнеризации, распределение ответственности RACI, ключевые показатели KPI) и проводится технико-экономическая оценка каждого варианта [2, 7, 12].

Практическая ценность заключается в возможности применить разработанную модель на аналогичных проектах массовой городской застройки [5, 8].

**Материалы и методы.** Расчеты по объекту выполнены укрупненно ввиду отсутствия детальных журналов массовых объемов работ. Объем отходов оценивается исходя из приведённой площади объекта (20 тыс. м<sup>2</sup>) и типов

работ (монолит, отделка и т. д.) с последующим распределением по категориям (инертные, металл, дерево, полимеры, смешанный материал, отходы III класса опасности) [3, 5]. Логистика организована с учетом ограничений площадки (односторонний подъезд, мочный комплекс колёс, временные окна въезда тяжёлой техники) [5, 8].

Базовым вариантом является традиционный смешанный сбор всех видов строительного мусора с последующей отправкой на полигоны. Инновационная альтернатива предполагает внедрение системы раздельного сбора отходов на строительной площадке, проведение предварительной обработки и приоритетную передачу пригодных материалов на переработку с использованием цифровых технологий контроля транспортных потоков и учета массы отходов. [12].

Расчёты проведены для конкретного объекта (корпус 5 по адресу: г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, 11) с применением общих исходных значений  $V_i$ , различающихся лишь организацией потока отходов и долей их последующего повторного использования.

Методика расчета универсальная: каждому виду выполняемой работы соответствует собственный удельный показатель формирования отходов (коэффициент  $k_i$ ), позволяющий определить итоговую массу отходов:

$$Q_i = k_i \times V_i,$$

которую далее распределяют по основным фракциям (инертные материалы, металлы, древесина, полимеры, смесь отделочного материала, опасные отходы).

Допущения при расчетах:

- грунт сверх нормы составляет 25 % от общей выемки (плотность 1,6 т/м<sup>3</sup>);
- остаточный бетон — 0,6 % от заливаемого объема (2,4 т/м<sup>3</sup>);
- лом арматуры — 1,5 % от общего веса;
- упаковка ограждающих конструкций — 0,6 кг/м<sup>2</sup>;
- изыски инженерных поставок: упаковка — 1,5 %, технологические обрезки — 2 % от массы,
- отделочные работы: смешанная группа — 3,5 кг/м<sup>2</sup>, опасные отходы (тары краски и лаков) — 0,12 кг/м<sup>2</sup>;
- благоустройство: прочие отходы — 0,8 кг/м<sup>2</sup>.

Объемы работ на участке: земляные работы — 12 000 м<sup>3</sup>, монолитный бетон — 10 000 м<sup>3</sup>, арматура — 1 500 т, фасадные ограждения — 14 000 м<sup>2</sup>, инженерные сети — 300 т, отделочные работы — 22 000 м<sup>2</sup>, благоустройство — 5 000 м<sup>2</sup> (таблица 1).

Таблица 1

Расчёт образования отходов по этапам и фракциям

Этап → фракция	Ед. ( $V_i$ )	Исходные данные / коэф.	Масса ( $Q_i$ ), т
Земляные → избыточный грунт	м <sup>3</sup>	12 000 × 25 % × 1,6 т/м <sup>3</sup>	4 800,00
Монолит → инертные (остатки бетона/раствора)	м <sup>3</sup>	10 000 × 0,6 % × 2,4 т/м <sup>3</sup>	144
Монолит → металл (лом арматуры)	т	1 500 × 1,5 %	22,5
Ограждающие/монтаж → упаковка	м <sup>2</sup>	14 000 × 0,6 кг/м <sup>2</sup>	8,4
Инженерные системы → упаковка	т	300 × 1,5 %	4,5
Инженерные системы → технологические обрезки	т	300 × 2,0 %	6
Отделка → смешанные	м <sup>2</sup>	22 000 × 3,5 кг/м <sup>2</sup>	77
Отделка → опасные (тара ЛКМ, кл. III)	м <sup>2</sup>	22 000 × 0,12 кг/м <sup>2</sup>	2,64
Благоустройство → прочие	м <sup>2</sup>	5 000 × 0,8 кг/м <sup>2</sup>	4
Итого по проекту			5 069,04

Основную массу строительных отходов составляют грунты, образующиеся при проведении земляных работ. Общий объем извлеченного грунта достигает 5069,04 тонн, что соответствует 253 кг на 1 м<sup>2</sup> застройки. Значительный удельный вес грунтов определяет стратегию их утилизации и транспортировки, оказывая ключевое влияние на ключевые показатели эффективности проектов (KPI). Анализ динамики накопления показывает интенсивный рост объема отходов в начальные месяцы вследствие землеройных работ («земляной пик»), сменяемый плавным ростом объемов, обусловленным монолитными работами, фасадными операциями и внутренней отделкой объекта (таблица 2). Это предопределяет необходимость точного планирования сроков погрузочно-разгрузочных операций и своевременного освобождения площадки для продолжения дальнейших строительного-монтажных работ.

Чтобы обеспечить возможность воспроизвести расчеты и проверить обоснованность принятых предположений, обобщаем используемые коэффициенты и плотности в отдельной таблице (таблица 3).

Таблица 2

## Помесячное образование отходов по этапам (т/мес.)

Мес.	Земляные	Монолит (инертн. + лом)	Огражд. / монтаж	Инженерные	Отделка	Благоустр.	Итого
1	1600	0	0	0	0	0	1 600,00
2	1600	0	0	0	0	0	1 600,00
3	1600	16,65	0	0	0	0	1 616,65
4	0	16,65	0	0	0	0	16,65
5	0	16,65	0	0	0	0	16,65
6	0	16,65	0	0	0	0	16,65
7	0	16,65	0	0	0	0	16,65
8	0	16,65	0	0	0	0	16,65
9	0	16,65	1,05	0	0	0	17,70
10	0	16,65	1,05	0,95	0	0	18,65
11	0	16,65	1,05	0,95	0	0	18,65
12	0	16,65	1,05	0,95	7,24	0	25,89
13	0	0	1,05	0,95	7,24	0	9,24
14	0	0	1,05	0,95	7,24	0	9,24
15	0	0	1,05	0,95	7,24	0	9,24
16	0	0	1,05	0,95	7,24	0	9,24
17	0	0	0	0,95	7,24	0	8,19
18	0	0	0	0,95	7,24	0	8,19
19	0	0	0	0,95	7,24	0	8,19
20	0	0	0	1	7,24	0	8,24
21	0	0	0	0	7,24	0	7,24
22	0	0	0	0	7,24	1,33	8,57
23	0	0	0	0	0	1,33	1,33
24	0	0	0	0	0	1,34	1,34
Итого	4 800,00	166,5	8,4	10,5	79,64	4	5 069,04

Таблица 3

## Принятые коэффициенты и плотности

Параметр	Принятое значение	Комментарий
Избыточный грунт	25 % от выемки; $\rho = 1,6 \text{ т/м}^3$	Учитывается только вывезенный объём
Благоустройство — прочие	0,8 кг/м <sup>2</sup>	Срезка / тара

Переход от расчетов массы отходов к вопросам логистики наглядно иллюстрирует потребность в транспортных средствах с необходимым объемом кузова и количестве рейсов (таблица 4). Если говорить о легких фракциях (таких как упаковка и смешанные отходы), то ключевым фактором выступает не столько их масса, сколько занимаемый ими объем. Использование прессов для уплотнения картонных коробок, пленок и прочих легких материалов значительно уменьшает оборот контейнеров, позволяя эффективно экономить транспортные ресурсы и снизить число необходимых поездок.

Таблица 4

## Расчет количества рейсов на вывоз грунта

Фракция	Масса, т	Оцен. плотность (насыпн.)	Объём, м <sup>3</sup>	Бункеры 20 м <sup>3</sup> (всего)	Рейсы самосвалов
Грунт	4 800,0	–	–	–	≈ 423 (12 т/рейс)

Вывоз лишнего грунта с площадки осуществляется исключительно автомобильным транспортом — напрямую самосвалами на специализированные полигоны. Однако для принятия обоснованных управленческих решений важно понимать, какие именно принятые предположения оказывают наибольшее влияние на конечный результат расчетов. Именно поэтому ниже проведен краткий анализ чувствительности, выявляющий наиболее значимый фактор, влияющий на выводы исследования (таблица 5).

Таблица 5

Чувствительность результата к ключевым допущениям

Изменение допущения	Было	Стало	Δ массы, т	Влияние
Доля избыточного грунта ± 5 п. п.	25 %	20–30 %	± 960	Критично (± 19 % от итога)

Операционную готовность строительной площадки обеспечивает четкое определение классов опасности отходов и типов используемой тары (пример: таблица 6). Такая мера необходима для правильного осуществления раздельного сбора и дальнейшего согласования процедур передачи отходов специализированным организациям на основании договоров. Правильная классификация и маркировка отходов помогают избежать нарушений санитарных и экологических норм, минимизировать риски штрафов и судебных разбирательств, а также способствуют повышению качества управления отходами и соблюдению требований государственных органов надзора.

Таблица 6

Фракции, классы опасности и рекомендуемая тара

Фракция	Класс	Рекомендуемая тара / зона
Грунт (незагрязнённый)	V	Прямой вывоз; временный буфер ≤ 1–2 суток

Приведенные данные создают надежную основу для сопоставления рассматриваемых сценариев. Основным источником неопределенности является уровень повторного использования избытков грунта. Чтобы учесть возможные варианты развития ситуации, расчет выполняется по трем сценариям повторного использования: нулевое использование (0 %), частичное использование (25 %) и умеренное использование (50 %) (таблица 7). Подобный подход позволяет выявить зависимость объема размещаемого грунта, числа рейсов и величины затрат от реальных ограничений, существующих в городском пространстве (качество извлечённого грунта, доступность пунктов приема, разрешённое время вывоза).

Таблица 7

Распределение потоков по фракциям (повторное использование / переработка и захоронение), т (вариант: повторное использование грунта 50 %)

Фракция	Масса всего	База: повторное использование / перер.	База: захоронение	Инновации: повторное использование / перер.	Инновации: захоронение
Грунт (избыточный)	4 800,00	0	4 800,00	2 400,00	2 400,00

Итоговая структура потоков отходов сильно зависит от выбранного уровня повторного использования грунта. Показатели, представленные в таблице 7, рассчитаны по оптимистичному сценарию с уровнем повторного использования 50 %. Этот случай отражает ситуацию, когда существует подтвержденная инфраструктура для приёма грунта, и обеспечиваются благоприятные условия для его применения.

Однако для выработки устойчивых управленческих решений предлагается учитывать промежуточный вариант с долевым участием 25 %, который представляется более реалистичным для большинства городских площадок. Дополнительно рассматривается и консервативный сценарий с полным отсутствием повторного использования грунта (0 %).

**Результаты исследования.** Интерпретация результатов должна проводиться с учетом трех указанных уровней: полная утилизация (0 %), частичное использование (25%) [6] и оптимальное использование (50 %). Конкретные численные значения будут зависеть от уточняющих пересчётов (таблица 8).

Ключевые критерии оценки сценариев представлены в сжатой форме таблицы-карты, отражающей четыре главных показателя: долю вовлечения отходов в повторное использование, объем захоронения, логистические расходы и удельные затраты на единицу обработанной площади.

Для полноты дадим стоимостное сравнение на ориентировочных тарифах: транспорт — 9 000 руб./рейс (12 т), размещение грунта — 900 руб./т (таблица 9).

Таблица 8

## Интегральные показатели (масса, логистика, удельные)

Показатель	База	Инновации	Эффект
Повторное использование / переработка, т	36,02	2 593,70	2 557,68
Доля переработки, %	0,71	51,2	50,5
Захоронение, т	5 033,02	2 475,34	–2 557,68 (–50,8 %)
Масса к вывозу, т	5 069,04	2 553,84	–2 515,20 (–49,6 %)
Рейсы самосвалов (12 т/рейс), шт.	≈ 423	≈ 213	–210 (–49,6 %)
Удельное захоронение, т/м <sup>2</sup>	0,252	0,124	–0,128
Удельный реюз / переработка, кг/м <sup>2</sup>	1,8	129,7	127,9

Таблица 9

## Прямые затраты по сценариям (расчётный пример)

Статья затрат	Единица	Тариф, руб.	База (объём)	База, руб.	Инновации (объём)	Инновации, руб.
Транспорт (самосвалы, 12 т)	рейс	9 000	≈ 423	3 807 000	≈ 213	1 917 000
Размещение грунта	т	900	4 800	4 320 000	2 400	2 160 000
Итого прямые затраты				8 127 000		4 077 000

Финансовый итог варьируется в диапазоне от 8,13 до 4,08 млн. рублей (примерно 50 %-ное сокращение) в зависимости от доли повторного использования грунтов (0, 25 или 50 %). Приведённый пример ориентирован на оптимистичный уровень — 50 %; для базовой городской практики (25 %) и консервативного сценария (0 %) стоимость корректируется дополнительно, используя анализ чувствительности (подробнее см. ниже) [7]. Реальные операционные итоги следует рассматривать в указанном диапазоне, а не полагаясь на одно значение.

Операционные преимущества (нефинансовые):

- сокращение числа рейсов автомобилей почти вдвое (около минус 210 рейсов), что облегчает дорожную обстановку и разгрузку «окошек» выезда;
- уменьшение пиковых скоплений отходов на площадке, благодаря чему улучшаются санитарно-гигиенические условия;
- повышенная прозрачность операций: электронный учет перевозки, упрощенный контроль, электронная отчетность снижают вероятность административных санкций и штрафных мер;
- эффективное подавление загрязнений (пыли, шума) благодаря коротким циклам предварительного измельчения и прессования отходов.

Чувствительность итогового результата. Наиболее существенное влияние на общую экономику проекта оказывает стратегия обращения с грунтом: изменение доли повторного использования всего на 5 процентных пунктов (например, с 25 до 30 %) влечет изменения порядка 960 тонн груза и около 1 миллиона рублей экономии. Другие коэффициенты (остатки бетона, норма образования отделочных отходов) влияют менее заметно [7].

Следовательно, при уточнении начальных данных рекомендуется сначала зафиксировать точные объемы земляных работ и реальную долю возвращаемого грунта, оценить доступность мобильной дробилки, проверить тарифы на перевозку и прием отходов на полигонах [8].

Преимущества инновационного сценария. Реализация инновационной стратегии в условиях городской застройки приносит существенные выгоды:

- уменьшение объемов захоронения на 51 %;
- снижение транспортной нагрузки почти наполовину (–50 % рейсов);
- прямая экономия финансовых средств достигает практически половины первоначальной стоимости обращения с отходами.

Дополнительные меры усиления эффекта включают коммерческую реализацию вторичных ресурсов (металла, вторичного щебня) и обязательную цифровизацию отчетности, что способствует прозрачности и снижению риска ошибок [9].

Цель инновационного сценария. На строительной площадке необходимо организовать поточную работу (таблица 10) таким образом, чтобы:

- поддерживать чистоту и экологичность: проводить регулярную уборку загрязненных территорий, обеспечивать покрытие бункеров и мойку колес при выезде;
- организовывать взвешивание грузов при выходе (если имеется весовая установка) или рассчитывать массу по объему и плотности с обязательным документированием (фотофиксация);
- осуществлять планирование логистики межпиково или ночью, учитывая установленные временные «окна»;
- создать запас гибкости в графике выездов (+15 % резерва по рейсам);
- использовать технику: самосвалы грузоподъемностью 12 тонн для грунта и бункеровозы вместимостью 20 м<sup>3</sup> для остальных фракций отходов.

Таблица 10

Недельный цикл операций (пример)

День	07:00–11:00	11:00–15:00	15:00–19:00	22:00–06:00
Пн.	Сбор / перемещение фракций	Прессование упаковки	Погрузка инертных материалов	Вывоз грунта (слоты)
Вт.	Дробление инертных материалов	Грохот / магнит	Погрузка втор. щебня	Вывоз смешанных отходов

Главным драйвером положительных изменений является эффективное управление самой крупной массой отходов — землей и инертными материалами. Их локальное повторное использование напрямую влияет на общую массу отходов и количество требуемого транспорта. Принятая доля повторного использования грунтов (0, 25 или 50 %) определяет масштабы положительного эффекта: при увеличении процента повторного использования сокращается объем захоронения и уменьшаются объемы перевозимого материала (таблица 11).

Например, при доле повторного использования 50% на площадке остается примерно 2,5 тысячи тонн переработанного грунта и вторичного щебня [6], тогда как при снижении доли этот положительный эффект закономерно ослабевает.

Таблица 11

Сводные KPI по сценариям (масса, логистика, удельные)

Показатель	База	Инновации	Эффект
Масса отходов образуется, т	5 069,0	5 069,0	–
Реюз / переработка, т	36	2 593,7	2 557,7 т
Доля реюза / переработки, %	0,71	51,2	50,5 п. п.
Захоронение, т	5 033,0	2 475,3	–2 557,7 т (–50,8 %)
Масса, подлежащая вывозу, т	5 069,0	2 553,8	–2 515,2 т (–49,6 %)
Рейсы самосвалов (12 т/рейс), шт.	≈ 423	≈ 213	–210 рейсов (–49,6 %)
Удельное захоронение, т/м <sup>2</sup>	0,252	0,124	–0,128 т/м <sup>2</sup>
Удельный реюз / переработка, кг/м <sup>2</sup>	1,8	129,7	127,9 кг/м <sup>2</sup>

Экономическая оценка. Приняты ориентировочные тарифы (заменяются фактическими): перевозка — 9 000 руб./рейс (12 т), размещение грунта — 900 руб./т, рейс (таблица 12).

Таблица 12

Прямые затраты по сценариям (расчётный пример)

Статья затрат	Единица	Тариф, руб.	База (объём)	База, руб.	Инновации (объём)	Инновации, руб.
Транспорт (самосвалы, 12 т)	рейс	9 000	≈ 423	3 807 000	≈ 213	1 917 000
Размещение грунта	т	900	4 800	4 320 000	2 400	2 160 000

**Обсуждение и заключение.** В результате исследования предложена эффективная методика управления строительными отходами, позволяющая сократить объёмы захоронения на 51 %, уменьшить транспортное воздействие на городскую среду на 50 % и достичь экономического эффекта: суммарная экономия порядка

4,1–4,2 млн. руб. ( $\approx 50\%$  к базе), или  $\approx 200\text{--}210$  руб/м<sup>2</sup> общей площади, т. е.  $50\%$  относительно традиционной модели обращения с отходами.

Полученная экономия достигается за счёт трёх основных факторов:

- сокращение числа рейсов почты почти вдвое благодаря локализации части переработки непосредственно на стройплощадке;
- уменьшение платы за размещение отходов на специализированных полигонах за счёт увеличения доли повторного использования сырья;
- эффективность недорогих операций предварительной подготовки (дробление, прессовка), обеспечивающих дополнительную выгоду в рамках комплексного подхода.

При этом важнейшую роль играют раздельный сбор отходов, мобильная первичная обработка и цифровизация логистики [13]. Особенно значимым оказался фактор повторного использования излишнего грунта: изменение его доли всего на  $5\%$  способно принести дополнительные миллионы рублей экономии. Реализация предложенной концепции предусматривает разработку интегрированной программы действий, сочетающую экологически чистые методы, цифровую регистрацию и грамотную логистику. Полученные результаты позволят возводить жилые объекты с меньшим ущербом для природы и серьёзной экономией материальных ресурсов.

### Список литературы/References

1. Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий. *Вестник МГСУ*. 2020;15(2):271–293. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.271-293>  
Kolodyazhny SA, Zolotukhin SN, Abramenko AA, Artemova EA Destruction of Buildings and Use of Materials from Renovated Urban Territories. *Vestnik MGSU*. 2020. 15(2), 271–293. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.271-293>
2. Хмелевской Н.А. Эффективность переработки строительных отходов методом рециклинга. *Integral: международный журнал прикладных наук и технологий*. 2020;3:19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43086681> (дата обращения: 25.03.2026).  
Khmelevskoi NA Efficiency of Construction Waste Recycling. *Integral: International Journal of Applied Sciences and Technology*. 2020;3:19. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43086681> (accessed: 25.03.2026)
3. Парамонова О.Н., Юдина Н.В. Строительные отходы с позиции теории устойчивости дисперсных систем. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территории*. 2024;3(1):48–56. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-1-48-56>  
Paramonova ON, Yudina NV Construction Waste from Perspective of the Disperse Systems Stabilisation Theory. *Construction Materials and Products*. 2024;3(1):48–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-1-48-56>
4. Яковенко К.А., Искрин В.А. Состояние сферы обращения со строительными отходами за рубежом. *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2024;5(169):58–65. <https://doi.org/10.71536/vd.2024.5c169.7>  
Yakovenko KA, Iskrin VA State of Construction Waste Management Abroad. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2024;5(169):58–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.71536/vd.2024.5c169.7>
5. Розина В.Е., Дагбаева Ю.Б. Управление системой переработки строительных отходов. *Universum: технические науки*. 2019;6(63). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/7430> (дата обращения: 25.03.2026).  
Rozina VE, Dagbaeva YuB Managing a System for Processing Construction Waste. *Universum: Technical Sciences*. 2019;6(63). (In Russ.) URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/7430> (accessed: 25.03.2026)
6. Дементьева М.Е., Мазурин Д.М. Организация процессов обработки строительных отходов в рамках технологии «умный снос» (кейс-анализ). *Строительство и архитектура*. 2023;4:10. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2023-11-4-10-10>  
Dement'eva ME, Mazurin DM Organization of Construction Waste Processes Using “Smart Demolition” Technology. *Construction and Architecture*. 2023;4:10. (In Russ.) <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2023-11-4-10-10>
7. Фёдоров М.И. Финансовые аспекты построения системы рециклинга отходов на строительном производстве. Магистерская диссертация. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2019. 145 с. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/112514> (дата обращения: 25.03.2026).  
Fedorov MI *Financial Aspects of Building a Recycling System in Construction*. Master's Thesis. Siberian Federal University, Krasnoyarsk. 2019. 145 p. (In Russ.) URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/112514> (accessed: 25.03.2026)
8. Ахмедова Г.Т. Логистика сбора, переработки и вторичного использования строительных отходов. Автореф. дис. канд. экон. наук. Ростов-на-Дону: РГЭУ (РИНХ); 2022. 27 с. URL: <https://goo.su/O97960> (дата обращения: 25.03.2026).

Akhmedova GT Logistics of Collection, Processing and Reuse of Construction Waste. *Author's Abstract of Cand. (Econ) Thesis*. RSUE, Rostov-on-Don; 2022. 27 p. (In Russ.) URL: <https://goo.su/Q9796o> (accessed: 25.03.2026)

9. Makul N, Fediuk R, Amran M, Zeyad AM, Murali G, Vatin N et al. Use of Recycled Concrete Aggregates in Production of Green Cement-Based Concrete Composites: A Review. *Crystals*. 2021;11(3):232. <https://doi.org/10.3390/cryst11030232>

10. Dodampegama S, Hou L, Asadi E, Zhang G, Setunge S Revolutionizing Construction and Demolition Waste Sorting: Insights from Artificial Intelligence and Robotic Applications. *Resources, Conservation & Recycling*. 2024;202:107375. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107375>

11. Bao Z Developing Circularity of Construction Waste for a Sustainable Built Environment in Emerging Economies: New Insights from China. *Developments in the Built Environment*. 2023;13:100107. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100107>

12. Han D, Kalantari M, Rajabifard A BIM for Construction and Demolition Waste Management in Australia: A Research Agenda. *Sustainability*. 2021;13(23):12983. <https://doi.org/10.3390/su132312983>

13. Kaewunruen S, Lin YH, Guo Y BIM-Driven Digital Twin for Demolition Waste Management. *Scientific Reports*. 2025;15:28989. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13938-9>

#### **Об авторах:**

**Розанцева Надежда Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), [ScopusID](#), [ORCID](#), [nrozanceva@lan.spbgasu.ru](mailto:nrozanceva@lan.spbgasu.ru)

**Сагитдинов Максим Ренатович**, магистрант кафедры организации строительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), [ORCID](#), [maxsag2001@mail.ru](mailto:maxsag2001@mail.ru)

#### **Заявленный вклад соавторов:**

**Н.В. Розанцева:** научное руководство, формирование основной концепции разработки идеи, доработка текста, корректировка, анализ и формирование выводов.

**М.Р. Сагитдинов:** разработка идеи, цели и задачи исследования, подготовка текста.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

#### **About the Authors:**

**Nadezhda V. Rozantseva**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Construction Organization, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4 2<sup>nd</sup> Krasnoarmeyskaya Str., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), [nrozanceva@lan.spbgasu.ru](mailto:nrozanceva@lan.spbgasu.ru)

**Maksim R. Sagitdinov**, Master's Student at the Department of Construction Organization, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4 2<sup>nd</sup> Krasnoarmeyskaya Str., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation), [ORCID](#), [maxsag2001@mail.ru](mailto:maxsag2001@mail.ru)

#### **Claimed contributorship:**

**NV Rozantseva:** scientific supervision, formation of the basic concept of idea development, revision of the manuscript, correction, analysis and formation of the conclusions.

**MR Sagitdinov:** development of the idea, aims of the research, preparation of the manuscript.

**Conflict of interest statement:** the authors do not have any conflict of interest.

**All authors have read and approved the final version of manuscript.**

**Поступила в редакцию / Received** 28.03.2026

**Поступила после рецензирования / Reviewed** 10.04.2026

**Принята к публикации / Accepted** 24.04.2026