



НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И КОМПЛЕКСЫ/GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS AND COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2> EDN: OFQMFZ**ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОГАБОРИТНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ С ФРЕЗЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ РЕСАЙКЛИНГА**

Научная статья

Минин В.В.^{1,*}, Петров А.И.², Юдаков К.С.³, Челединов А.В.⁴^{1, 2, 3, 4} Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (vminin[at]rambler.ru)

Предложена: 15.04.2026; Принята: 29.06.2026; Опубликовано: 30.06.2026

Аннотация

Рассматривается вопрос повышения эффективности эксплуатации универсальных малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом, оснащенных фрезой для ресайклинга дорожного покрытия в условиях городской среды. Методика оценки эффективности базируется на расчёте соотношения полученного технологического эффекта и затраченных ресурсов энергии и времени. Проведен сравнительный анализ эффективности использования универсальных машин различного размера по своему типоразмеру (на примере моделей Bobcat). Анализ проведен с использованием оценок по удельной эффективности, которая напрямую зависит от затрат энергии на единицу объема выполненных работ. Предложен безразмерный комплексный показатель, включающий производительность, объемы повторного использования материала и энергозатраты. Определены области наиболее эффективного применения погрузчиков различных классов по типоразмеру (малый, средний и тяжелый).

Ключевые слова: малогабаритный погрузчик, фреза, ресайклинг, энергоэффективность.**THE EFFICIENCY OF SMALL-SIZED LOADERS WITH MILLING EQUIPMENT FOR RECYCLING**

Research article

Minin V.V.^{1,*}, Petrov A.I.², Yudakov K.S.³, Cheledinov A.V.⁴^{1, 2, 3, 4} Sibirian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (vminin[at]rambler.ru)

Suggested: 15.04.2026; Accepted: 29.06.2026; Published: 30.06.2026

Abstract

The issue of improving the operational efficiency of universal small-sized loaders with skid steering, equipped with a milling cutter for road surface recycling in an urban environment, is examined. The methodology for assessing efficiency is based on calculating the ratio of the achieved technical benefit to the energy and time resources expended. A comparative analysis of the efficiency of using universal machines of various sizes (on the example of Bobcat models) has been carried out. The analysis was carried out using assessments of specific efficiency, which is directly dependent on energy consumption per unit of work performed. A non-dimensional comprehensive indicator has been suggested, incorporating productivity, the volume of material reused and energy consumption. The areas of most effective application for loaders of various size classes (small, medium and heavy) have been identified.

Keywords: small-size loader, milling cutter, recycling, energy efficiency.**Введение**

Эффективность эксплуатации наземных транспортных и технологических машин при ремонте дорожных покрытий является комплексной задачей. В условиях плотной городской застройки, на тротуарах и придомовых территориях применение крупногабаритной дорожной фрезерной техники невозможно из-за её габаритов. Традиционный метод (отбойные молотки) характеризуется низкой производительностью и высокой трудоемкостью. В связи с вышесказанным актуальным становится применение универсальных малогабаритных погрузчиков (УМП) с навесным фрезерным оборудованием [1]. Это позволяет не только механизировать процесс удаления асфальта, но и реализовать технологию ресайклинга [2], [3] (повторного использования материала) непосредственно на месте проведения работ.

Методы и принципы исследования

Целью проведенных исследований является разработка методики оценки эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков с широкой номенклатурой сменных рабочих органов. Поставленная цель достигается решением отдельных задач на примере погрузчиков, оснащаемых фрезерным рабочим оборудованием для ресайклинга. Разработанная методика включает всесторонний анализ затраченной энергии для различных типоразмеров машин и оценку их производительности. Научная новизна предлагаемой методики заключается в оригинальном критерии: интегральном индексе эффективности, который объединяет производительность, степень ресайклинга материала и удельные энергозатраты.

Под эффективностью в рамках данного исследования понимается соотношение полученного технологического эффекта к затраченным ресурсам (энергия, время) при соблюдении заданного качества выполнения работ. Для дорожных фрез полезная работа определяется объемом разработанного асфальтобетонного покрытия и возможностью его вовлечения в повторный цикл (ресайклинг).

Общая формула эффективности (η) выражается следующим образом:

$$\eta = \frac{W_{\text{пол}}}{E_{\text{затр}}},$$

где $W_{\text{пол}}$ — полезная работа (или технологический эффект);

$E_{\text{затр}}$ — затраченная энергия (в том числе механическая, электрическая).

Применительно к процессу фрезерования асфальтобетона [4], [5], полезная работа зависит от производительности оборудования и коэффициента интенсификации, характеризующего качество измельчения материала. Затраченная энергия напрямую коррелирует с мощностью силовой установки погрузчика и временем выполнения технологической операции.

Полезная работа ($W_{\text{пол}}$) при эксплуатации УМП с фрезерным оборудованием определяется объемом разработанного (измельченного) асфальтобетона с учётом качества его измельчения для дальнейшего ресайклинга.

В общем виде:

$$W_{\text{пол}} = Q \cdot k_{\text{инт}},$$

где Q — объём (или масса) обработанного материала;

$k_{\text{инт}}$ — коэффициент интенсификации (характеризует качество обработки).

Затраченная энергия ($E_{\text{затр}}$) включает в себя мощность, потребляемую гидроприводом навесного оборудования и силовой установкой погрузчика для обеспечения рабочего движения и рассчитывается по формуле:

$$E_{\text{затр}} = P_{\text{дв}} \cdot t,$$

где $P_{\text{дв}}$ — эффективная мощность двигателя погрузчика;

кВт, t — время выполнения технологических операций, ч.

Для сравнительного анализа различных моделей техники целесообразно использовать удельную эффективность ($\eta_{\text{уд}}$), которая напрямую зависит от качества обработки материала и энергозатрат на единицу объема выполненных работ и рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{уд}} = e \cdot k_{\text{инт}},$$

где e — удельные энергозатраты (кВт·ч/м³).

При фрезеровании асфальтобетона коэффициенты интенсификации ($k_{\text{инт}}$) зависят от конструктивных параметров ротора фрезы, частоты вращения, расположения резцов и физико-механических свойств дорожного покрытия (тип асфальта, температура) [6], [7], [8], [9]. Для условий Красноярского края при расчетах используется поправочный климатический коэффициент, учитывающий повышенную твердость покрытия при низких положительных температурах [10], [11].

В качестве объекта исследования рассматривается универсальный малогабаритный погрузчик (УМП), оснащенный роторной дорожной фрезой. Данный комплекс предназначен для разработки асфальтобетонного покрытия и реализации технологии холодного ресайклинга с частичным или полным возвратом материала. Основными техническими параметрами, определяющими эффективность процесса, являются [12], [13], [14]: базовая машина УМП (мощностью от 30 до 80 кВт) с гидравлическим приводом и рабочим органом в виде роторной фрезы с твердосплавными резцами, которая приводится в действие гидромотором от вала отбора мощности погрузчика. Технологические возможности сменного рабочего органа: фрезерование на глубину до 150–200 мм и измельчение снятого материала для повторного использования.

Теоретическая производительность (P) по объёму (м³/ч) рассчитывается на основе геометрических параметров прохода и рабочей скорости погрузчика:

$$P = B \cdot h \cdot v,$$

где B — ширина фрезы, м;

h — глубина фрезерования, м;

v — рабочая скорость, м/ч.

Энергетический аспект оценивается через фактическую затраченную энергию (E) за час работы (кВт ч):

$$E = k_N \cdot N_{\text{дв}} \cdot t,$$

где $N_{\text{дв}}$ — установленная мощность двигателя погрузчика, кВт;

t — время выполнения операции, ч;

k_N — коэффициент использования мощности (принимается равным 0,85).

Основные результаты

Для исследования были выбраны три модели погрузчиков Bobcat [15], представляющие малый (S150), средний (S590) и тяжелый (S850) классы. Исходные данные и результаты расчетов производительности представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики исследуемых моделей и результаты расчёта производительности и энергозатрат

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.1>

Параметр	Малый (S150)	Средний (S590)	Тяжелый (S850)
Мощность, кВт	34	61	74
Экспл. масса, т	2,1	3,8	5,4
Ширина фрезы, м	0,8	1,2	1,5
Глубина фрезирования, м	0,10	0,15	0,20
Скорость, м/ч	720	900	1080
Производительность, м ³ /ч	57,6	162	324
Уд. энергозатраты, кВт·ч/м ³	0,502	0,320	0,194

Проведенные расчёты позволяют оценить не только энергетическую, но и технологическую эффективность применения малогабаритной техники в дорожном строительстве. Рассмотрим коэффициент интенсификации труда. По сравнению с ручной разборкой асфальтового покрытия (средняя производительность которой составляет 2,5 м³/ч на звено рабочих), применение навесной фрезы на базе погрузчика Bobcat S590 позволяет повысить темпы работ в 64,8 раза, а для модели S850 в 129,6 раз. Это обеспечивает существенное сокращение сроков проведения ямочного ремонта в условиях ограниченного дорожного сезона Красноярского края. Оценивая эффективность ресайклинга имеем в виду, что применение данной технологии позволяет обеспечить коэффициент использования материала $k_{рес}$ на уровне 0,93–0,95. Это означает, что более 90% снятого асфальта может быть повторно использовано в качестве основания, что снижает потребность в закупке и доставке инертных материалов (щебня) на 11700 т/год (на примере парка из машин среднего класса). Учитывая энергетический аспект установлено, что тяжелые модели (S850) обладают наилучшим показателем удельных энергозатрат (0,194 кВт·ч/м³). Однако для городских условий эксплуатации (дворы, тротуары) наиболее рациональным является средний класс (S590). Несмотря на чуть более высокие удельные затраты (0,320 кВт·ч/м³), данная модель обладает необходимой маневренностью для работы в стесненных условиях.

На рисунках 1–6 представлены результаты оценки эффективности по отдельным показателям в зависимости от главного параметра УМП — эксплуатационной массы машины G . На графиках точками обозначены значения параметров машин для малого, среднего и тяжелого классов.

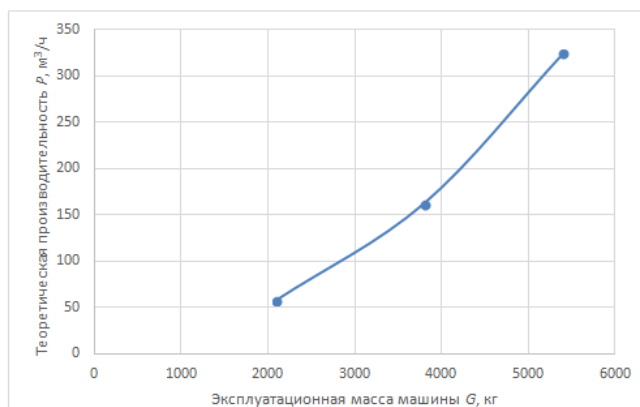


Рисунок 1 - Зависимость теоретической производительности P от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.2>



Рисунок 2 - Зависимость затраченной энергии E от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.3>



Рисунок 3 - Зависимость удельных энергозатрат e от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.4>

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать следующие выводы: с ростом эксплуатационной массы машины (G) наблюдается практически линейный рост теоретической производительности (P), что обусловлено возможностью установки более мощного навесного оборудования и увеличением тягового усилия погрузчика. Несмотря на абсолютный рост энергопотребления (E) у тяжелых моделей, удельный показатель (e) существенно снижается. Это доказывает, что для масштабных работ по фрезерованию асфальтобетона энергетически выгоднее использовать машины тяжелого класса (S850), так как они затрачивают в 2,5 раза меньше энергии на 1 м³ разработанного материала по сравнению с малым классом (S150).

Помимо объемных показателей, важным фактором является по массе производительность удельной переработки асфальтобетона. Зависимость массы переработанного материала M от эксплуатационной массы погрузчика G при средней плотности асфальтобетона $\rho=2350$ кг/м³, (рис 4.) для тяжелого класса погрузчиков – 761,4 т/ч.

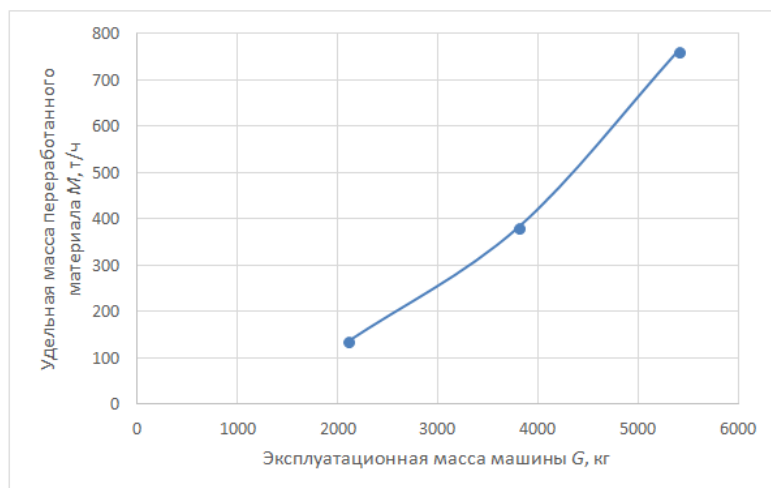


Рисунок 4 - Зависимость массы переработанного материала M от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.5>

Для количественной оценки технологического превосходства механизированного способа над ручным трудом введём коэффициент интенсификации $k_{\text{инт}}$, который показывает, во сколько раз производительность машинного комплекса выше производительности ручной разборки покрытия:

$$k_{\text{инт}} = \frac{P}{P_{\text{баз}}} = \frac{P}{2,5}$$

где $P_{\text{баз}} = 2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ — производительность ручного труда (звено рабочих).

Коэффициент интенсификации ($k_{\text{инт}}$) характеризует технологическое превосходство механизированного способа над ручным трудом. Установлено, что применение модели S590 заменяет работу 65 рабочих, а использование S850 повышает интенсивность процесса в 130 раз (рис. 5), что критически важно для сокращения сроков дорожного ремонта.

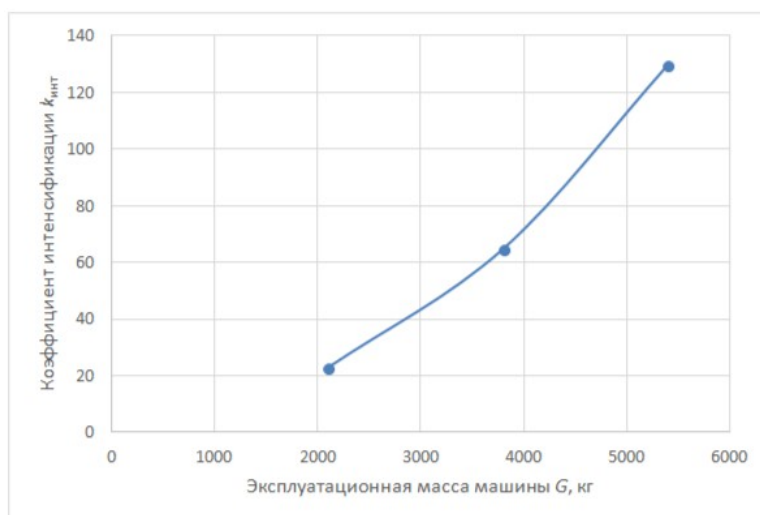


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента интенсификации $k_{\text{инт}}$ от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.6>

Для объективного сравнения разных классов машин недостаточно оценивать только производительность. Авторами разработан интегральный индекс эффективности ($I_{\text{эфф}}$), который объединяет производительность, степень рециклинга материала и удельные энергозатраты, в виде:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{P \cdot k_{\text{рес}}}{e}$$

где $k_{\text{рес}}$ — коэффициент повторного использования материала (0,93-0,95).

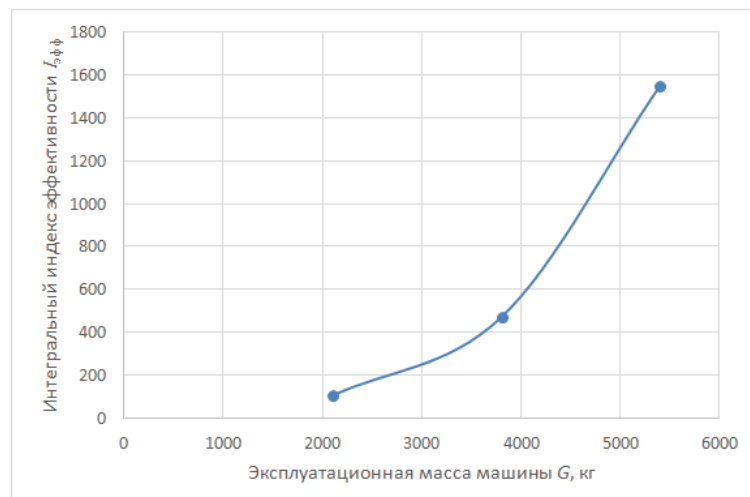


Рисунок 6 - Зависимость интегрального индекса эффективности $I_{эфф}$ от эксплуатационной массы машины G
DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2026.11.2.7>

Чем выше значение $I_{эфф}$, тем эффективнее машина сочетает в себе высокую выработку и экономию ресурсов. Как видно из расчетов, тяжелый класс (S850) обладает максимальной комплексной эффективностью, превосходя малый класс почти в 15 раз.

Заключение

На основе проведенного анализа технических и энергетических показателей (табл. 1, рис. 1–6) определены области наиболее эффективного применения различных классов машин:

Малый класс имеет смысл брать только для мелкого ремонта дорог в очень стесненных условиях – например, на тротуарах или в узких проездах. Но у таких машин самые высокие расходы энергии на единицу работы (0,502 кВт ч на кв.м). Значит, если объем фрезерования большой, работать ими становится просто невыгодно.

Средний класс является наиболее универсальным вариантом для города. Такие машины удачно сочетают поворотливость и производительность (162 м² в час). С их помощью можно и ямы заделывать, и снимать изношенный верхний слой покрытия.

Тяжелый класс обладает лучшей энергетической эффективностью. На ту же единицу работы тратится минимум энергии (0,194 кВт ч/м²). Поэтому для масштабного холодного фрезерования на широких дорогах, где нужна высокая скорость и большой объем выработки, стоит выбирать именно тяжёлые машины.

Следует отметить (на основе текущих цен на ГСМ проведен расчет эксплуатационных затрат), что с ростом мощности машины часовой расход топлива увеличивается с 6 до 14 л/ч. При этом за счет высокой производительности себестоимость фрезерования 1 м³ материала снижается. Для малого класса: себестоимость составляет 6,25 руб./м³. Для среднего класса: себестоимость снижается до 4,07 руб./м³. Для тяжелого класса: достигается минимальное значение — 2,59 руб./м³.

Таким образом, использование тяжелой техники на больших объемах работ экономически выгоднее в 2,4 раза по сравнению с малым классом. При этом полная окупаемость навесного оборудования достигается только при загрузке машины не менее 80% от рабочего времени сезона.

По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1. Разработана методика оценки эффективности УМП по оригинальному критерию, представляющему собой интегральный индекс эффективности.
2. Для проведения сравнительного анализа и выявления наиболее эффективных условий использования УМП взяты экспериментальные данные и технические характеристики машин малого, среднего и тяжелого классов.
3. Устанавливается, что энергетическая эффективность процесса фрезерования возрастает пропорционально росту класса машины: удельные затраты энергии у тяжелого погрузчика в 2,6 раза ниже, чем у малого.
4. Технологическая гибкость УМП среднего и малого классов делает их наиболее подходящими для работы в стесненных условиях городской застройки (дворы, тротуары).
5. Максимальный интегральный индекс эффективности ($I_{эфф}$) зафиксирована у модели тяжелого класса, что обусловлено оптимальным сочетанием мощности гидросистемы и массогабаритных параметров.
6. Для нужд жилищно-коммунального хозяйства и микроремонта дорог наиболее рациональным является средний класс, обеспечивающий баланс между маневренностью, производительностью и себестоимостью работ.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Минин В.В. Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков : монография / В.В. Минин. — Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. — 304 с.
2. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы : учебник / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Г.В. Кустарев. — Белгород : БГТУ, 2020. — 526 с.
3. Фурманов Д.В. Оценка эффективности дорожных фрез на основе гранулометрического анализа измельченного материала / Д.В. Фурманов, Л.М. Шамахов, Е.С. Буданова // Вестник СибАДИ. — 2025. — № 5. — С. 710–727.
4. Ярмолинский В.А. Холодный ресайклинг дорожных конструкций : учебное пособие / В.А. Ярмолинский, Е.С. Буданова. — Москва : МАДИ, 2024. — 112 с.
5. Фурманов Д.В. Влияние износа режущего элемента дорожной фрезы на силу сопротивления резанию асфальтобетона / Д.В. Фурманов, Л.М. Шамахов, Н.Э. Лысаков // Вестник СибАДИ. — 2023. — № 2. — С. 204–216.
6. Фурманов Д.В. Оценка эффективности процесса фрезерования на основе гранулометрического анализа щебеночно-мастичного асфальтобетонного гранулята / Д.В. Фурманов, Е.С. Буданова // Вестник СибАДИ. — 2024. — № 6. — С. 852–866.
7. Пятанина Е.В. Повышение эффективности применения холодного ресайклинга асфальтобетонного покрытия / Е.В. Пятанина, В.В. Севриков, А.А. Чижов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. — Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. — С. 820–824.
8. Боцман Л.Н. Анализ эффективности внедрения технологии холодного ресайклинга с применением модификатора «ДорЦем ДС-1» / Л.Н. Боцман, К.Г. Соболев, Р.О. Полякова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2019. — № 1. — С. 34–40.
9. Шамахов Л.М. Влияние износа режущих элементов на эффективность работы дорожной фрезы / Л.М. Шамахов, Д.В. Фурманов // Тракторы и сельхозмашины. — 2025. — № 2. — С. 204–212.
10. Буданова Е.С. Проблемы эффективного применения технологии холодного ресайклинга дорожных одежд / Е.С. Буданова, В.А. Ярмолинский, А.С. Борисов // Умные композиты в строительстве. — 2024. — № 1. — С. 31–42.
11. Ярмолинский В.А. Выбор оптимального количества вяжущего при холодном ресайклинге асфальтобетонных покрытий / В.А. Ярмолинский, М.О. Жабкин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. — 2021. — № 2. — С. 49–55.
12. Сахапов Р.Л. Влияние исследуемых факторов на мощность фрезерования / Р.Л. Сахапов, М.М. Махмутов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2015. — № 2-4. — С. 896–899.
13. Алексиков С.В. Применение асфальтогранулята при ремонте дорог Волгограда / С.В. Алексиков, А.И. Лескин, Д.И. Гофман // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. — 2024. — № 1. — С. 43–52.
14. Никишин В.Е. Опыт применения ресурсосберегающей технологии холодного ресайклинга / В.Е. Никишин // Техническое регулирование в транспортном строительстве. — 2024. — № 1. — С. 15–18.
15. Attachment Performance Guide: Milling Attachments // Bobcat Company. — 2024. — URL: <https://shop.bobcat.com/> (accessed: 15.04.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Minin V.V. Kontseptsiya povysheniya effektivnosti universal'nykh malogabaritnykh pogruzchikov [The concept of increasing the efficiency of universal small-sized loaders] : monograph / V.V. Minin. — Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2012. — 304 p. [in Russian]
2. Balovnev V.I. Dorozhno-stroitel'nyye mashiny i komplekсы [Road construction machines and complexes] : textbook / V.I. Balovnev, S.N. Glagolev, G.V. Kustarev. — Belgorod : BSTU, 2020. — 526 p. [in Russian]
3. Furmanov D.V. Otsenka effektivnosti dorozhnykh frez na osnove granulometricheskogo analiza izmel'chennogo materiala [Evaluation of the efficiency of road milling machines based on granulometric analysis of milled material] / D.V. Furmanov, L.M. Shamakhov, E.S. Budanova // Vestnik SibADI [Bulletin of Siberian State Automobile and Highway University]. — 2025. — № 5. — P. 710–727. [in Russian]
4. Yarmolinsky V.A. Kholodnyy resaykling dorozhnykh konstruksiy [Cold recycling of road structures] : textbook / V.A. Yarmolinsky, E.S. Budanova. — Moscow : MADI, 2024. — 112 p. [in Russian]
5. Furmanov D.V. Vliyaniye iznosa rezhushchego elementa dorozhnoy frezy na silu soprotivleniya rezaniyu asfal'tobetona [The influence of wear of the cutting element of a road milling machine on the cutting resistance force of asphalt concrete] / D.V. Furmanov, L.M. Shamakhov, N.E. Lysakov // Vestnik SibADI [Bulletin of Siberian State Automobile and Highway University]. — 2023. — № 2. — P. 204–216. [in Russian]



6. Furmanov D.V. Otsenka effektivnosti protsessa frezerovaniya na osnove granulometricheskogo analiza shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetonnoy granulyata [Evaluation of the milling process efficiency based on granulometric analysis of stone mastic asphalt concrete granulate] / D.V. Furmanov, E.S. Budanova // Vestnik SibADI [Bulletin of Siberian State Automobile and Highway University]. — 2024. — № 6. — P. 852–866. [in Russian]
7. Pyatanina E.V. Povysheniye effektivnosti primeneniya kholodnogo resayklinga asfal'tobetonnoy pokrytiya [Increasing the efficiency of cold recycling of asphalt concrete pavement] / E.V. Pyatanina, V.V. Sevrikov, A.A. Chizhov // Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (National) Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates. — Yekaterinburg : USFEU, 2025. — P. 820–824. [in Russian]
8. Botsman L.N. Analiz effektivnosti vnedreniya tekhnologii kholodnogo resayklinga s primeneniym modifikatora "DorTsem DS-1" [Analysis of the effectiveness of implementing cold recycling technology using the modifier "DorTsem DS-1"] / L.N. Botsman, K.G. Sobolev, R.O. Polyakova // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. — 2019. — № 1. — P. 34–40. [in Russian]
9. Shamakhov L.M. Vliyaniye iznosa rezhushchikh elementov na effektivnost' raboty dorozhnoy frezy [The influence of wear of cutting elements on the efficiency of a road milling machine] / L.M. Shamakhov, D.V. Furmanov // Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and Agricultural Machinery]. — 2025. — № 2. — P. 204–212. [in Russian]
10. Budanova E.S. Problemy effektivnogo primeneniya tekhnologii kholodnogo resayklinga dorozhnykh odezhd [Problems of effective application of cold recycling technology for road pavements] / E.S. Budanova, V.A. Yarmolinsky, A.S. Borisov // Umnyye kompozity v stroitel'stve [Smart Composites in Construction]. — 2024. — № 1. — P. 31–42. [in Russian]
11. Yarmolinsky V.A. Vybór optimal'nogo kolichestva vyazhushchego pri kholodnom resayklinge asfal'tobetonnykh pokrytiy [Selection of the optimal binder content in cold recycling of asphalt concrete pavements] / V.A. Yarmolinsky, M.O. Zhabkin // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University]. — 2021. — № 2. — P. 49–55. [in Russian]
12. Sakhapov R.L. Vliyaniye issleduyemykh faktorov na moshchnost' frezerovaniya [The influence of the studied factors on milling power] / R.L. Sakhapov, M.M. Makhmutov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2015. — № 2-4. — P. 896–899. [in Russian]
13. Aleksikov S.V. Primeneniye asfal'togranulyata pri remonte dorog Volgograda [Application of asphalt granulate in road repair in Volgograd] / S.V. Aleksikov, A.I. Leskin, D.I. Gofman // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. — 2024. — № 1. — P. 43–52. [in Russian]
14. Nikishin V.E. Opyt primeneniya resursosberegayushchey tekhnologii kholodnogo resayklinga [Experience in the application of resource-saving cold recycling technology] / V.E. Nikishin // Tekhnicheskoye regulirovaniye v transportnom stroitel'stve [Technical Regulation in Transport Construction]. — 2024. — № 1. — P. 15–18. [in Russian]
15. Attachment Performance Guide: Milling Attachments // Bobcat Company. — 2024. — URL: <https://shop.bobcat.com/> (accessed: 15.04.2026).