

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Н.В. Алешина✉, А.В. Степанов, В.К. Катаров

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), Россия, 185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33

kovaleva_natalia@petrsu.ru

Проанализирована необходимость использования высокопроизводительных одноковшовых экскаваторов на различных этапах технологических процессов строительства автомобильных лесовозных дорог в целях повышения уровня индустриализации дорожно-строительной инфраструктуры. Обоснована целесообразность поиска новых технологических решений с позиций ресурсосбережения в рамках экономии материальных средств, современного технического оснащения и обеспеченности трудовыми ресурсами без снижения качественных характеристик возводимого дорожного полотна. Рассмотрено использование универсальной машины — одноковшового экскаватора, оборудованного двумя типами ковшей: неповоротным ковшом для экскавации грунтов в положении «обратная лопата», оснащенным зубьями, и планировочным ковшом с режущей кромкой и ребрами жесткости с тыльной стороны. Показаны целесообразность и эффективность использования данных ковшей на соответствующих стадиях возведения дорожной конструкции. Определены и проанализированы значения времени циклов работы машины с двумя типами ковшей одинакового объема при выполнении различных операций в ходе строительства лесовозной дороги. Выполнена оценка влияния параметров эмпирической зависимости определения часовой технологической производительности землеройно-транспортной техники. Получена зависимость часовой технологической производительности экскаватора от времени цикла работы машины. Даны рекомендации для повышения эффективности ресурсосберегающей технологии строительства лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: лесовозная дорога, строительство лесовозной дороги, дорожное полотно, экскаватор, хронометраж, производительность, навесное оборудование, планировочный ковш

Ссылка для цитирования: Алешина Н.В., Степанов А.В., Катаров В.К. Экспериментальная оценка эффективности технологических решений при строительстве лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 4. С. 136–146. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-136-146

Лесовозные автомобильные дороги представляют собой инженерное сооружение и предназначены для вывозки и доставки лесоматериалов потребителям. Наличие высоких технико-экономических показателей таких дорог является обязательным ввиду необходимости обеспечения достаточной ритмичности, экономичности и, что немаловажно, экологичности транспортной составляющей лесозаготовительного процесса. Лесовозные автомобильные дороги относятся к капиталоемким инженерным сооружениям, поэтому методы их строительства постоянно совершенствуют и оптимизируют, а используемую технику оборудуют высокотехнологичными рабочими органами. Наряду с сокращением затрат эти усовершенствования направлены на повышение прочностных характеристик и долговечности дорожного полотна.

Появление высокопроизводительных экскаваторов, которые сочетают в себе надежный гидропривод, плавность и скорость работы, возможность перевозки на трале без нарушения габаритов по дорогам общего пользования и другие параметры, позволило сделать технологический рывок в дорожном строительстве. В настоящее время такие машины применяют не только на карьерах при производстве погрузочных работ, но и внедряют в другие этапы различных технологических процессов. В силу наличия возможности установки навесного оборудования, соответствующего характеру выполняемой операции, экскаватор сегодня в определенных условиях является наиболее целесообразной машиной и может заменять харвестер, мульчер, корчеватель-собираатель, каток, грейдер и иные специализированные машины и механизмы, т. е. практически все имеющиеся варианты дорожно-строительной техники, за исключением самосвалов. Эти особенности,

а также возможность бесперебойной круглогодичной эксплуатации позволили оценивать экскаватор как незаменимую составляющую процесса строительных работ.

В зависимости от срока эксплуатации лесовозные дороги подразделяются на постоянные и временные [1–3]. К постоянным лесовозным дорогам относят магистрали, которые функционируют на всем протяжении существования лесосырьевой базы и соединяют лесной массив с нижним складом. К временным лесовозным дорогам относят ветки и лесовозные усы, срок службы которых не превышает пяти лет. Как правило, усы примыкают к магистрали или ветке и служат для вывозки заготовленной древесины с одной или нескольких лесосек.

Общая протяженность автомобильных дорог в лесном фонде Российской Федерации составляет 1618 тыс. км, из них на лесовозные дороги приходится 403 тыс. км [3]. Потребность в строительстве новых лесных дорог круглогодичного действия и временных дорог в целом по РФ составляет 2,2 тыс. км и 9,3 тыс. км в год соответственно [4].

Согласно Лесному плану Республики Карелия на 2019–2028 годы [5, 6], густота дорожной сети, используемой для перевозки лесных грузов в пределах ее территории, составляет 1,84 км на 1000 га. Однако для полного освоения лесных территорий всеми лесохозяйственными мероприятиями плотность дорог должна находиться в пределах от 5 до 10 км на 1000 га.

Значительные трудовые и финансовые затраты приходится на строительство и содержание магистралей и веток [7–10]. Особое внимание при этом уделяется лесовозным веткам, в связи с чем осуществляется поиск новых технологических решений в области строительства лесных дорог, которые бы обеспечили минимальные затраты ресурсов и финансов без снижения качественных характеристик возводимого дорожного полотна [11, 12].

В настоящее время разработано несколько технологий строительства лесовозных автомобильных дорог [13–15]. На обводненных участках местности и на болотах устраивают дороги с дерегогрунтовыми, колейными щитовыми сборно-разборными и лежневыми конструкциями дорожной одежды из лесосечных отходов и отходов лесопиления. Также возможно строительство дорожной конструкции с использованием современных геосинтетических материалов в различных комбинациях: укладка геосетки под грунтовым дорожным покрытием, укладка геосетки на подготовленное грунтовое основание с последующей отсыпкой слоя древесной щепы и рабочего слоя грунта и т. д.

Применение геоматериалов позволяет перераспределить нагрузку на большую площадь основания, увеличить несущую способность покрытия дорожного полотна, снизить объем земляных работ и трудозатраты, а также ускорить процесс строительства за счет простоты исполнения.

Цель работы

Цель работы — проведение замеров и анализ временных затрат работы одноковшового экскаватора, оснащенного специальным навесным оборудованием, на различных этапах строительства лесовозной автомобильной дороги, а также выявление технологических решений, позволяющих повысить эффективность возведения таких дорог.

Материалы и методы

К наиболее дешевым и перспективным методам относится технология возведения земляного полотна из боковых резервов и придорожных канав. Данный способ широко используется в Скандинавских странах и на Северо-Западе России. Основным строительным материалом является местный почвогрунт, перемещаемый экскаватором в тело земляного полотна из боковых канав, выполняющих роль притрассовых резервов [16].

В связи с использованием местного грунта отсутствует необходимость в устройстве карьеров с дальнейшей их рекультивацией, что является важнейшей экологической составляющей строительства дороги. Совместно с возведением земляного полотна из придорожных канав возможно применение геосинтетических материалов, в частности геосеток и геотекстиля, которые определяются как нейтральные по отношению к природной среде [17, 18]. Непригодные для строительства грунты с низкой несущей способностью возможно использовать при реализации соответствующих методик повышения их прочностных характеристик, основанных на введении стабилизаторов [19–24].

В настоящее время отличительной чертой технологии «из канав» является возможность строительства лесной дороги с применением лишь одной универсальной дорожно-строительной машины. При возведении небольших насыпей из грунта, взятого из боковых резервов или уширенных придорожных канав, традиционно используется одноковшовый экскаватор, оборудованный обратной лопатой с неповоротным ковшом. Отсыпка насыпи производится в два слоя из симметричных одна другой канав:



Рис. 1. Возведение земляного полотна одноковшовым экскаватором, оборудованным планировочным ковшом с режущей кромкой

Fig. 1. Construction of a subgrade using a single-bucket excavator equipped with a leveling bucket with a cutting edge

первый слой из одной канавы, второй — из другой. Грунты, получаемые при разработке выемок, используют для отсыпки близлежащих примыкающих к выемкам насыпей с продольным перемещением грунта [4, 25, 26]. Положительным моментом при этом является одновременное устройство водоотвода, что, впоследствии, улучшает водно-тепловой режим земляного полотна.

При этом лесозаготовительные предприятия и компании могут использовать два типа навесного оборудования: поворотный планировочный ковш с режущей кромкой, а также неповоротный ковш с зубьями. В связи с этим возникает задача оценки целесообразности и эффективности применения того или иного ковша.

Одноковшовые экскаваторы относятся к машинам циклического действия [26–30]. За один цикл, независимо от типа установленного ковша, экскаватор выполняет следующие операции: резание грунта и заполнение ковша, подъем ковша с грунтом, поворот экскаватора вокруг оси к месту выгрузки, выгрузка грунта из ковша, обратный поворот экскаватора, опускание ковша на грунт и подача его для резания грунта (рис. 1).

Поворотный ковш обладает большими степенями свободы и большими техническими возможностями по сравнению с неповоротным ковшом. Благодаря тому, что ковш является поворотным, представляется возможность планирования поверхности как земляного полотна,

так и боковых откосов. Выполнение данных операций с применением неповоротного ковша с зубьями будет затруднительным и потребует больших временных затрат.

В целях оценки эффективности применения оборудования и его производительности на базе опытных участков лесной дороги были проведены исследования хронометража времени работы экскаватора с двумя типами ковшей одинакового объема, в количестве трех измерений каждого вида работ отдельных циклов [31–34]. Исследования проводились на территории учебного и научно-исследовательского комплекса «Лесная дорога», расположенного в Инновационно-технологическом кампусе ПетрГУ.

Целью хронометражных измерений являлся замер прогрессивного времени от начала до окончания отдельного этапа процесса работы экскаватора, содержащего циклические повторения. Были рассмотрены следующие этапы строительства: снятие растительного слоя; корчевка пней; возведение земляного полотна; строительство боковых канав; а также планировочные работы и работы по уплотнению грунта. Каждый этап разбит на характерные рабочие операции, выполняемые последовательно методом копания.

Таким образом, в частности, цикл «Снятие растительного слоя» состоит из выполнения следующих работ:

- 1) резания растительного слоя и заполнения ковша;

- 2) поворота экскаватора вокруг оси к месту выгрузки;
- 3) выгрузки;
- 4) укладки грунта и его разравнивания;
- 5) обратного поворота экскаватора в забой.

Состав и последовательность работ на различных этапах строительства определены в соответствии с характером выполняемых экскаватором циклов.

Результаты и обсуждение

В качестве объекта исследования был принят экскаватор на гусеничной основе New Holland E135BSR, оборудованный видеорегистратором в лобовой части машины.

Экскаватор New Holland E135BSR с двигателем Mitsubishi имеет следующие технические характеристики:

Мощность, кВт	63
Эксплуатационная масса, кг	14 700
Дорожный просвет, мм	445
Гусеничная база, мм	3045
Ширина гусениц, мм	500
Глубина копания, мм	5150–6000
Максимальный вылет стрелы, мм	8830
Максимальная высота выгрузки, мм	6200
Ширина, мм	2490
Вместимость ковша, м ³	1

Исследования проводились на участке опытной лесовозной ветки протяженностью 600 м со следующими характеристиками:

Состав древостоя	9Е1Б
Количество пней с двух сторон от оси дороги в пределах вылета стрелы экскаватора, шт.	3–4
Количество камней с двух сторон от оси дороги в пределах вылета стрелы экскаватора:	
на подготовительных работах	2–3
на строительных работах	8–10
Группа грунтов по трудности разработки (песчанистая супесь, пластичная морена, торфяник с наличием пней и деревьев)	II
Класс несущей способности (непучинистая гравийная морена, грубый песок)	C

Замер времени в рамках проведения хронометража осуществлен для двух типов ковшей. Поскольку оборудование экскаватора тем или иным ковшом подразумевает выполнение различных видов земляных работ, замеры времени проведены для каждого ковша в отдельности с учетом характера выполняемых рабочих

циклов. На результат измерений оказали влияние природные условия на полигоне строительства, которые были учтены при расчетах. Все работы выполнял один машинист, что максимально снизило вероятность возникновения человеческого фактора, обусловленного изменением времени работы от цикла к циклу.

Ключевыми точками замера служили начало и окончание выполняемой операции и нажатие кнопки на отсчетном устройстве. По результатам серии хронометражных измерений времени получены новые данные (табл. 1–3).

Особенностью корчевки пней с использованием поворотного ковша является первоначальное сдвигание пня рабочим органом с последовательным раскачиванием, что занимает около 5...8 с (далее в расчетах учтено время 5 с).

После того как экскаватор, оборудованный поворотным ковшом, высыпал грунт в тело земляного полотна, происходит разравнивание грунта с помощью навесного оборудования. Это занимает примерно 6 с.

При этом передислокация на новое место стоянки, независимо от установленного навесного оборудования, занимает около 20 с (указанное время является ориентировочным и может варьировать с учетом расстояния перемещения, которое, в свою очередь, определяется размером рабочей зоны экскаватора).

Технология строительства лесовозной автомобильной дороги «из канав» предполагает параллельное возведение земляного полотна и устройство боковых откосов, а также формирование боковых водоотводных канав. Поскольку на экскаваторе установлен планировочный ковш, то предполагается одновременное планирование и уплотнение грунта на откосах. В пределах одного забоя с каждой стороны откоса данная операция занимает 20 с, разравнивание верха земляного полотна — 14 с.

Затраты времени, требуемого для выполнения операций, составляющих рабочий цикл машины, представлены в табл. 2. Хронометраж времени на планировке и уплотнении верха земляного полотна и боковых откосов насыпи проведен только для экскаватора, оборудованного поворотным планировочным ковшом с режущей кромкой, так как для выполнения данного технологического процесса стандартным ковшом экскаватор должен съезжать на откосную часть при наличии соответствующей возможности. В противном случае работы следует выполнять тыльной стороной ковша, что займет большее количество времени.

При возведении земляного полотна поворотным ковшом после выгрузки грунта производится создание профиля и предварительное

Т а б л и ц а 1

Результаты хронометражных измерений времени (с), затрачиваемого экскаватором, оснащённым двумя типами ковшей, на снятие растительного слоя, корчевку пней и возведение земляного полотна

Results of time measurements (seconds) taken by an excavator equipped with two types of buckets to remove topsoil, uproot stumps, and construct a roadbed

Операция	Снятие растительного слоя		Корчевка пней		Возведение земляного полотна	
	поворотный ковш с режущей кромкой	неповоротный ковш с зубьями	поворотный ковш с режущей кромкой	неповоротный ковш с зубьями	поворотный ковш с режущей кромкой	неповоротный ковш с зубьями
Резание грунта и заполнение ковша	5,05	6,09	3,78	6,50	3,34	2,54
Подъем ковша и поворот экскаватора вокруг оси к месту выгрузки	2,18	1,57	2,45	2,50	2,56	2,07
Выгрузка из ковша	2,33	2,31	1,69	2,83	2,00	2,22
Укладка, разравнивание и уплотнение	5,37	5,78	—	—	—	—
Обратный поворот ковша, опускание ковша и подача его для резания грунта	0,89	2,45	2,48	2,11	1,83	2,59
Всего	15,82	18,20	10,40	13,94	10,73	9,42

Т а б л и ц а 2

Затраты времени (с) на выполнение технологических операций экскаватором

Time spent (seconds) performing technological operations by an excavator

Рабочий цикл	Тип ковша	
	Поворотный ковш с режущей кромкой	Неповоротный ковш с зубьями
Снятие растительного слоя	15,82	18,20
Корчевка пней	15,40	13,94
Возведение земляного полотна	16,73	9,42
Строительство боковых канав, расходы, в том числе:	20	9,42
планировка откосов с одной стороны		
от оси дороги в пределах вылета стрелы;	14	—
уплотнение грунта на откосах	6	—
Планировка верха земляного полотна на одной стоянке	14	—
Уплотнение верха земляного полотна	11	11
Всего	92,95 с	91,98 с

уплотнение после каждой отсыпки; строительство боковых водоотводных канав неповоротным ковшом предполагает лишь формирование грубых очертаний профиля элемента дороги без планировки и уплотнения.

Сравнение общего времени последовательных циклов показывает, на каких видах работ

экскаватор тратит наибольшее время. Таким образом, при использовании в качестве навесного оборудования планировочного ковша к числу подобных операций относятся строительство земляного полотна и корчевка пней, а при работе ковшом с зубьями — снятие растительного слоя.

Т а б л и ц а 3

Параметры статистической обработки результатов исследований

Parameters for statistical processing of research results

Операция	Тип ковша					
	Поворотный ковш с режущей кромкой			Неповоротный ковш с зубьями		
	среднее значение, $\bar{x}$	диспер- сия, s^2	доверитель- ный интер- вал, 95 %	среднее значение, $\bar{x}$	диспер- сия, s^2	доверитель- ный интер- вал, 95 %
Резание грунта и заполнение ковша	4,06	0,81	[1,82; 6,30]	5,04	4,77	[-0,37; 10,45]
Подъем ковша и поворот экскаватора вокруг оси к месту выгрузки	2,4	0,04	[1,90; 2,90]	2,05	0,23	[0,90; 3,20]
Выгрузка из ковша	2,01	0,1	[1,22; 2,80]	2,45	0,1	[1,66; 3,24]
Укладка, разравнивание и уплотнение	5,37	—	—	5,78	—	—
Обратный поворот ковша, опускание ковша и подача его для резания грунта	1,73	0,65	[-0,24; 3,70]	2,38	0,06	[1,88; 2,88]
Всего	12,32	9,25	[6,52; 18,12]	13,85	19,46	[4,98; 22,72]

Увеличение времени последовательных рабочих циклов у экскаватора, оборудованного поворотным ковшом, связано с выполнением операций, направленных на формирование проектного профиля дорожного полотна и отдельных инженерных элементов, а также обеспечение требуемой несущей способности конструкции в целом.

При подборе дорожно-строительной машины и соответствующего навесного рабочего оборудования определяющим показателем является производительность [30, 31].

Известны математические модели работ экскаватора, связанных с оптимизацией различных параметров машины, которые влияют на ее технико-экономические показатели, в частности производительность [30].

В целях оценки эффективности работы экскаватора с учетом затрачиваемого времени на выполнение той или иной операции в качестве расчетной использована формула для определения часовой технологической производительности $\Pi_{ч.т}$ (м³/ч), которая, в свою очередь, учитывает выполнение процессов (см. табл. 2)

$$\Pi_{ч.т} = \frac{3600qK_b}{t_n K_p},$$

где q — объем ковша, м³, принимаемый согласно техническим характеристикам машины;

K_b — коэффициент использования рабочего времени, принимаемый из диапазона от 0,8 до 0,9 [7];

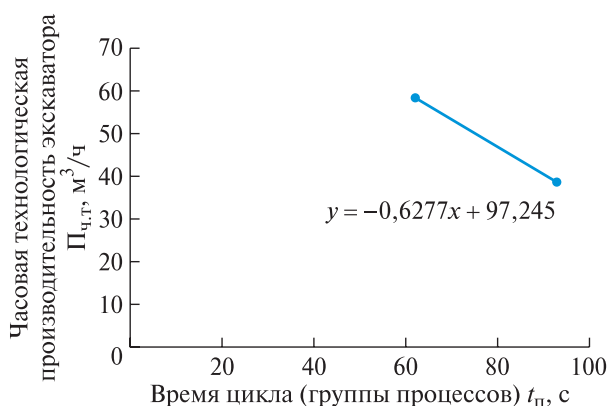


Рис. 2. Зависимость часовой технологической производительности экскаватора, вырабатываемой машиной на соответствующих технологических этапах возведения дорожной конструкции, от времени цикла работы машины

Fig. 2. Hourly technological productivity dependence of an excavator generated by the machine at the corresponding technological stages of a road construction on the machine cycle time

t_n — время цикла (группы процессов), с;

K_p — коэффициент рыхления, принимаемый в зависимости от категории грунта [30, 35].

Из данного выражения видно, что ключевым параметром часовой технологической производительности экскаватора при прочих равных условиях является время цикла работы машины.

При этом соотношение имеет обратный характер, т. е. чем больше время цикла, тем меньше производительность.

Повысить конкурентоспособность проведения земляных работ и строительства лесовозных автомобильных дорог можно, прежде всего, увеличивая производительность техники при снижении времени цикла [30, 31].

На основании выполненных расчетов часовой технологической производительности экскаватора при возведении дорожной конструкции по рассматриваемой технологии получена некоторая зависимость (рис. 2).

Для оценки воспроизводимости и статистической значимости полученных результатов были определены ключевые параметры статистического анализа (см. табл. 3).

Выводы

Более высокую часовую технологическую производительность работ при возведении лесовозных автомобильных дорог можно достичь, используя неповоротный ковш. В сравнении с поворотным планировочным ковшом положительный эффект составляет более 30 %.

Однако планировочный ковш с режущей кромкой позволяет выполнять группу технологических операций при строительстве лесовозных автомобильных дорог, направленных на параллельное возведение земляного полотна, устройство откосов, планирование и уплотнение их поверхностей, а также предварительное уплотнение поверхности земляного полотна, что способствует формированию готового проектного профиля дороги.

Основным преимуществом неповоротного ковша является наличие зубьев, способствующих более легкому и быстрому резанию грунта при снятии растительного слоя и корчевке пней.

Таким образом, предложены следующие технологические решения, позволяющие повысить эффективность строительства.

1. Дифференцированное применение навесного оборудования в зависимости от этапа работ.

Технологические операции, требующие интенсивную разработку грунта, снятие растительного слоя и корчевку пней, целесообразно производить с применением неповоротного ковша с зубьями, что обеспечит меньшее время цикла и большую производительность работ. Формирование продольного и поперечного профилей дорожного полотна, устройство откосов, планировка и предварительное уплотнение грунта рекомендуется производить поворотным

планировочным ковшом с режущей кромкой, который позволит выполнить целый комплекс процессов за один проход, исключая необходимость использования дополнительных машин.

2. Совмещение технологических операций.

Применение поворотного ковша позволяет одновременно вести отсыпку земляного полотна, планировку откосов и их уплотнение, а также выполнять предварительное уплотнение верха полотна, что сокращает общее число проходов и передислокаций техники, повышая при этом эффективность всего строительства.

3. Учет зависимости производительности от времени цикла.

Установлено, что часовая технологическая производительность экскаватора обратно пропорциональна времени цикла. Для повышения производительности при сохранении качества работ необходимо минимизировать время цикла на каждом этапе путем оптимизации подбора типа ковша. При этом, несмотря на обеспечение использования неповоротного ковша более высокой часовой производительности на отдельных операциях, окончательный выбор должен определяться требованиями к готовому профилю дороги.

4. Оптимизация организации работ на стоянке.

В ходе исследований выявлено, что передислокация экскаватора занимает около 20 с и не зависит от типа ковша. Снижение числа передислокаций за счет увеличения рабочей зоны на одной стоянке (в пределах вылета стрелы) является дополнительным резервом повышения общей эффективности.

Основным решением по повышению эффективности ресурсосберегающей технологии строительства лесовозных автомобильных дорог является комбинированное использование двух типов ковшей на одном одноковшовом экскаваторе с их попеременной заменой в зависимости от этапа работ: неповоротный ковш с зубьями следует применять на черновых земляных работах, планировочный ковш — для чистовой отделки и формирования профиля сооружения. Такой подход позволит достичь баланса между высокой производительностью и требуемым качеством дорожного полотна, сократить парк применяемых машин и снизить общие затраты ресурсов.

Список литературы

- [1] Лесные дороги. Справочник / под ред. Э.О. Салмина. СПб.: Лань, 2012. 496 с.
- [2] СП 288.1325800.2016 Дороги лесные. Правила проектирования и строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069592> (дата обращения 20.09.2025 г.)

- [3] Герасимов Ю.Ю., Катаров В.К. Лесные дороги. Йоэнсуу: Изд-во научно-исследовательского института леса Финляндии, 2011. 70 с.
- [4] Ковалева Н.В. Обоснование ресурсосберегающих технологических решений при строительстве лесных дорог: дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01. Петрозаводск, 2016. 199 с.
- [5] Лесной план республики Карелия на 2019–2028 годы. Том 1: Пояснительная записка. Петрозаводск, 2020. 169 с.
- [6] Степанов А.В., Петров А.Н. Анализ сети лесовозных дорог республики Карелия // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки, 2014. № 8 (145). Вып. 2 (Т. 2). С. 78–81.
- [7] Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Боровлев Ю.А., Самцов В.В., Романов П.О. Применение теории надежности организационных систем при решении частных задач проектирования организации строительства магистральных лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 4. С. 157–166. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-157-166
- [8] Лыткин А.А., Долгих Г.В., Пролыгин А.С. Пути увеличения межремонтных сроков службы автомобильных дорог // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, 2024. № 2 (96). С. 290–313.
- [9] Erber G., Kroisleitner H., Huber C., Varch T., Stampfer K. Periodical Maintenance of Forest Roads with a Mobile Stone Crusher // Croat. J. For. Eng., 2020, v. 41, no. 1, pp. 1–12.
- [10] Madzhov S. Forest Roads Maintenance and Repair // J. of Environmental Science and Engineering, 2018, В 7, pp. 266–274.
- [11] Пролыгин А.С., Александров А.С., Долгих Г.В. Модуль деформации грунтощебеночной смеси для проектирования дорожных одежд // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Материалы V Нац. науч.-практ. конф. (ОТИС – 2022), 21–22 апреля 2022 года, г. Омск. Омск: Изд-во СибАДИ, 2022. С. 414–422.
- [12] Чудинов С.А. Исследование набора прочности фиброцементогрунта в дорожной одежде лесовозной автомобильной дороги // Resources and Technology, 2024. № 2. Т. 21. С. 1–14.
- [13] Логачев В.Н. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Мытищи, 2015, 187 с.
- [14] Чернякевич В.И. Ресурсосберегающая технология строительства лесных дорог // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2010. № 3. С. 54–60.
- [15] Akgul M., Demir M., Akay A.E. Analyzing dynamic curve widening on forest roads // J. of Forestry Research, 2017, v. 28, no. 2, pp. 411–417.
- [16] Ковалева Н.В. Обоснование технологических решений строительства лесных дорог по критерию прочности дорожного полотна // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки, 2015. № 6 (151). С. 111–113.
- [17] Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: Материалы Междунар. науч. конф., 23–26 сентября 2014 года, Минск – Нарочь, Минск: Экоперспектива, 2014. 412 с.
- [18] Сушков С.И., Бурмистрова О.Н. Применение геосинтетических и геопластиковых материалов в дорожном строительстве. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, 2016. 128 с.
- [19] Кабалин М.Д., Замуруев А.В., Курлыккина А.В., Кузнецов Д.А. Теоретические аспекты укрепления грунта в дорожном строительстве // Вестник ГГНТУ. Технические науки, 2023. № 3 (33). С. 64–74.
- [20] Kianimehr M., Shourijeh P.T., Binesh S.M., Mohammadinia A., Arulrajah A. Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils // Construction and Building Materials, 2019, p. 227.
- [21] Дмитриева Т.В., Маркова И.Ю., Строкова В.В., Безродных А.А., Куцына Н.П. Эффективность стабилизаторов различного состава при укреплении грунтов минеральным вяжущим // Строительные материалы и изделия, 2020. № 3 (1). С. 30–38.
- [22] Sarath Chandra K., Sahile K., Krishnaiah S. Utilization of Red Mud-Fly Ash Reinforced with Cement in Road Construction Applications // Advances in Materials Science and Engineering, 2021, 31 p.
- [23] Грачева Ю.В., Тарасеева Н.И., Иванов Н.М. Длительная водостойкость модифицированных геосинтетических вяжущих для дорожного строительства // Региональная архитектура и строительство, 2021. № 1 (46). С. 63–69.
- [24] Мохирев А.П., Серватинский В.В., Дудин П.О., Сорокина М.Н., Мохирев И.А., Соколова А.Р. Анализ факторов, влияющих на несущую способность автомобильной дороги с покрытием капитального типа // Resources and Technology, 2024. № 2. Т. 21. С. 114–128.
- [25] Транспорт леса. Т. 1: Сухопутный транспорт. М.: Академия, 2009. 366 с.
- [26] Домбровский Н.Г., Панкратов С.А. Землеройные машины. Ч. 1. Одноковшовые экскаваторы. М.: Госстройиздат, 1961. 651 с.
- [27] Макеев В.Н., Плешков Д.Д., Солопанов М.С. Повышение эффективности применения одноковшовых гидравлических экскаваторов при строительстве лесных дорог // Лесотехнический журнал, 2013. № 1 (9). С. 86–92.
- [28] Svenson G., Fjeld D. The impact of road geometry and surface roughness on fuel consumption of logging trucks // Scandinavian J. of Forest Research, 2016, v. 31, no. 5, pp. 526–536.
- [29] Дорожно-строительные машины. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2022. 39 с.
- [30] Тюрин Н.А., Бессараб Г.А., Язов В.Н. Дорожно-строительные материалы и машины. М.: Академия, 2009. 304 с.
- [31] Чудинов С.А. Оценка технико-экономической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из фиброцементогрунта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2024. Вып. 249. С. 230–243.
- [32] Степанов А.В., Груздов А.В. Экспериментальная оценка состояния дорог Карелии, подверженных активному воздействию лесовозного транспорта // Resources and Technology, 2023. № 4. С. 160–173.

- [33] Кручинин И.Н., Побединский В.В., Шакирзянов Д.И., Данилов В.В. Система оценки транспортно-эксплуатационного состояния покрытий переходного типа лесных автомобильных дорог // *Деревообрабатывающая пром-сть*, 2020. № 3. С. 3–10.
- [34] Вырко Н.П., Леонович И.И., Демидко М.Н. Влияние состояния транспортных путей на эффективность работы лесовозных автопоездов на вывозке заготовленного леса // *Труды БГТУ*, 2014. № 2. С. 37–39.
- [35] Степанов А.В., Катаров В.К., Сюнев В.С., Ратькова Е.И., Колесников Г.Н. Влияние стабилизирующих добавок на модули упругости и деформации грунтовой смеси основания дорожной одежды при транспортном освоении лесосырьевой базы юга Республики Карелия // *Лесотехнический журнал*, 2024. Т. 14. № 3 (55). С. 222–237.

Сведения об авторах

Алешина Наталья Владимировна [✉] — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), kovaleva_natalia@petrsu.ru

Степанов Артем Валерьевич — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), stepanov@petrsu.ru

Катаров Василий Кузьмич — канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), vkatarov@petrsu.ru

Поступила в редакцию 20.11.2025.

Одобрено после рецензирования 05.05.2026.

Принята к публикации 18.05.2026.

EXPERIMENTAL EFFICIENCY EVALUATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN TRUCK HAUL ROADS CONSTRUCTION

N.V. Aleshina[✉], A.V. Stepanov, V.K. Katarov

Petrozavodsk State University (PetrSU), 33, Lenin av., 185910, Petrozavodsk, Russia

kovaleva_natalia@petrsu.ru

The article analyzes the need to use high-performance single-bucket excavators at various stages of technological processes for the construction of haulage roads, which, in turn, is aimed at increasing the level of industrialization of the road construction infrastructure as a whole. The expediency of searching for new technological solutions in the field of forest road construction that ensure resource conservation in the context of saving material resources, technical equipment and labor resources without reducing the quality characteristics of the constructed roadway is substantiated. The modern technology of building haulage roads using a universal machine — a single-bucket excavator equipped with two types of buckets is considered: a fixed bucket for excavating soil in the «reverse shovel» position, equipped with teeth, and a grading bucket equipped with a cutting edge and stiffening ribs on the rear side. An assessment is given of the feasibility and efficiency of using a particular bucket at the corresponding stages of road structure construction. On the territory of the educational and research complex located on the basis of Petrozavodsk State University in the Republic of Karelia, the values of the operating cycle times of a machine with two types of buckets of the same volume were experimentally determined and analyzed when performing various operations during the construction of a haulage road. An assessment was made of the influence of the parameters of the empirical dependence for determining the hourly technological productivity of earthmoving and transport equipment. Based on the calculations made, the dependence of the hourly technological productivity of an excavator on the operating cycle time of the machine was obtained.

Keywords: wood-transport road, wood-transport road construction, roadbed, excavator, chronometration, productivity, rigging, slope bucket

Suggested citation: Aleshina N.V., Stepanov A.V., Katarov V.K. *Eksperimental'naya otsenka effektivnosti tekhnologicheskikh resheniy pri stroitel'stve lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Experimental efficiency evaluation of technological solutions in truck haul roads construction]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 4, pp. 136–146. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-4-136-146

References

- [1] *Lesnyye dorogi. Spravochnik* [Forest Roads. Handbook]. Ed. E.O. Salminen. St. Petersburg: Lan', 2012, 496 p.
- [2] *SP 288.1325800.2016 Dorogi lesnyye. Pravila proyektirovaniya i stroitel'stva* [SP 288.1325800.2016 Forest Roads. Design and Construction Rules]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456069592> (accessed 20.09.2025).
- [3] Gerasimov YU.YU., Katarov V.K. *Lesnyye dorogi* [Forest Roads]. Joensuu: Publishing House of the Finnish Forest Research Institute, 2011, 70 p.
- [4] Kovaleva N.V. *Obosnovaniye resursosberegayushchikh tekhnologicheskikh resheniy pri stroitel'stve lesnykh dorog* [Justification of Resource-Saving Technological Solutions in the Construction of Forest Roads]. Dis. Cand. Sci. (Tech.), 05.21.01. Petrozavodsk, 2016, 199 p.
- [5] *Lesnoy plan respubliki Kareliya na 2019–2028 gody. Tom 1: Poyasnitel'naya zapiska* [Forest Plan of the Republic of Karelia for 2019–2028. Volume 1: Explanatory Note]. Petrozavodsk, 2020, 169 p.
- [6] Stepanov A.V., Petrov A.N. *Analiz seti lesovoznykh dorog respubliki Kareliya* [Analysis of the Forest Road Network of the Republic of Karelia]. Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki [Scientific Notes of Petrozavodsk State University. Series «Natural and Technical Sciences»], 2014, no. 8 (145), iss. 2 (v. 2), pp. 78–81.
- [7] Vysotskaya I.A., Skrypnikov A.V., Borovlev Yu.A., Samtsov V.V., Romanov P.O. *Primenenie teorii nadezhnosti organizatsionnykh sistem pri reshenii chastnykh zadach proektirovaniya organizatsii stroitel'stva magistral'nykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Organisational systems reliability theory application in solving particular problems of designing main truck haulroads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 4, pp. 157–166. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-157-166
- [8] Lytkin A.A., Dolgikh G.V., Prolygin A.S. *Puti uvelicheniya mezhremontnykh srokov sluzhby avtomobil'nykh dorog* [Ways to Increase the Service Life Between Repairs of Highways]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University], 2024, no. 2 (96), pp. 290–313.
- [9] Erber G., Kroisleitner H., Huber C., Varch T., Stampfer K. Periodical Maintenance of Forest Roads with a Mobile Stone Crusher // *Croat. J. For. Eng.*, 2020, vol. 41, no. 1, pp. 1–12.
- [10] Madzhov S. Forest Roads Maintenance and Repair // *J. of Environmental Science and Engineering*, 2018, B 7, pp. 266–274.
- [11] Prolygin A.S., Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V. *Modul' deformatsii gruntoshchebenochnoy smesi dlya proyektirovaniya dorozhnykh odezhd* [Deformation modulus of soil-crushed stone mixture for road pavement design]. *Obrazovaniye. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo*, [Education. Transport. Innovations. Construction], 2022, pp. 414–422.
- [12] Chudinov S.A. *Issledovaniye nabora prochnosti fibrotsementogrunta v dorozhnoy odezhe lesovoznoy avtomobil'noy dorogi* [Study of strength gain of fiber cement soil in the pavement of a logging road]. *Resources and Technology*, 2024, no. 2, v. 21, pp. 1–14.
- [13] Logachev V.N. *Povysheniye transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v usloviyakh ograniченныkh resursov* [Improving the transport and operational qualities of logging roads under conditions of limited resources]. Dis. Cand. Sci. (Tech.), 05.21.01. Mytishchi, 2015, 187 p.
- [14] Chernyakevich V.I. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya stroitel'stva lesnykh dorog* [Resource-saving technology for the construction of forest roads]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Bulletin of the Volga Region State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2010, no. 3, pp. 54–60.
- [15] Akgul M., Demir M., Akay A.E. Analyzing dynamic curve widening on forest roads // *J. of Forestry Research*, 2017, vol. 28, no. 2, pp. 411–417.
- [16] Kovaleva N.V. *Obosnovaniye tekhnologicheskikh resheniy stroitel'stva lesnykh dorog po kriteriyu prochnosti dorozhnogo polotna* [Justification of Technological Solutions for the Construction of Forest Roads Based on the Roadbed Strength Criterion]. Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki [Scientific Notes of Petrozavodsk State University. Series: Natural and Technical Sciences], 2015, no. 6 (151), pp. 111–113.
- [17] *Sovremennoye sostoyaniye, tendentsii razvitiya, ratsional'noye ispol'zovaniye i sokhraneniye biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira: materialy mezhdunar. nauch. konf.* [Current State, Development Trends, Rational Use and Conservation of Biodiversity of Plant Life: Proc. of the International Scientific Conf.], September 23–26, 2014, Minsk – Naroch, Minsk: Ecoperspektiva, 2014, 412 p.
- [18] Sushkov S.I., Burmistrova O.N. *Primeneniye geosinteticheskikh i geoplastikovykh materialov v dorozhnom stroitel'stve* [Application of Geosynthetic and Geoplastic Materials in Road Construction]. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozova, 2016, 128 p.
- [19] Kabalin M.D., Zamuruyev A.V., Kurlykina A.V., Kuznetsov D.A. *Teoreticheskiye aspekty ukrepleniya grunta v dorozhnom stroitel'stve* [Theoretical aspects of soil strengthening in road construction]. *Vestnik GGNTU. Tekhnicheskiye nauki* [Vestnik GGNTU. Technical Sciences], 2023, no. 3 (33), pp. 64–74.
- [20] Kianimehr M., Shourijeh P.T., Binesh S.M., Mohammadinia A., Arulrajah A. Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of clay soils // *Construction and Building Materials*, 2019, p. 227.
- [21] Dmitriyeva T.V., Markova I.YU., Strokova V.V., Bezrodnykh A.A., Kutsyna N.P. *Effektivnost' stabilizatorov razlichnogo sostava pri ukreplenii gruntov mineral'nym vyazhushchim* [The effectiveness of stabilizers of various compositions in strengthening soils with mineral binders]. *Stroitel'nyye materialy i izdeliya* [Construction materials and products], 2020, no. 3 (1), pp. 30–38.

- [22] Sarath Chandra K., Sahile K., Krishnaiah S. Utilization of Red Mud-Fly Ash Reinforced with Cement in Road Construction Applications // *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 31 p.
- [23] Gracheva YU.V., Taraseyeva N.I., Ivanov N.M. *Dlitel'naya vodostoykost' modifitsirovannykh geosinteticheskikh vyazhushchikh dlya dorozhnogo stroitel'stva* [Long-Term Water Resistance of Modified Geosynthetic Binders for Road Construction]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction], 2021, no. 1 (46), pp. 63–69.
- [24] Mokhirev A.P., Servatinskiy V.V., Dudin P.O., Sorokina M.N., Mokhirev I.A., Sokolova A.R. *Analiz faktorov, vliyayushchikh na nesushchuyu sposobnost' avtomobil'noy dorogi s pokrytiyem kapital'nogo tipa* [Analysis of Factors Affecting the Bearing Capacity of a Road with a Capital Pavement]. *Resources and Technology*, 2024, no. 2, v. 21, pp. 114–128.
- [25] *Transport lesa. T. 1: Sukhoputnyy transport* [Timber Transport. Vol. 1: Land Transport]. Moscow: Academy, 2009, 366 p.
- [26] Dombrovskiy N.G., Pankratov S.A. *Zemleroy nye mashiny. CH. 1. Odnokovshovyye ekskavatory* [Earthmoving Machines. Part 1. Single-Bucket Excavators]. Moscow: State Publishing House of Literature on Construction, Architecture, and Building Materials, 1961, 651 p.
- [27] Makeyev V.N., Pleshkov D.D., Solopanov M.S. *Povysheniye effektivnosti primeneniya odnokovshovykh gidravlicheskikh ekskavatorov pri stroitel'stve lesnykh dorog* [Improving the Efficiency of Using Single-Bucket Hydraulic Excavators in Forest Road Construction]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering J.], 2013, no. 1 (9), pp. 86–92.
- [28] Svenson G., Fjeld D. The impact of road geometry and surface roughness on fuel consumption of logging trucks // *Scandinavian J. of Forest Research*, 2016, vol. 31, no. 5, pp. 526–536.
- [29] *Dorozhno-stroitel'nyye mashiny* [Road Construction Machinery]. Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 2022, 39 p.
- [30] Tyurin N.A., Bessarab G.A., Yazov V.N. M. *Dorozhno-stroitel'nyye materialy i mashiny* [Road Construction Materials and Machinery]. Moscow: Academy, 2009, 304 p.
- [31] Chudinov S.A. *Otsenka tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog iz fibrotsementogrunta* [Evaluation of the technical and economic efficiency of construction of logging roads from fiber cement soil]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2024, iss. 249, pp. 230–243.
- [32] Stepanov A.V., Gruzlov A.V. *Eksperimental'naya otsenka sostoyaniya dorog Karelii, podverzhennykh aktivnomu vozdeystviyu lesovoznogo transporta* [Experimental assessment of the condition of roads in Karelia exposed to the active impact of logging transport]. *Resources and Technology*, 2023, no. 4, pp. 160–173.
- [33] Kruchinin I.N., Pobedinskiy V.V., Shakirzyanov D.I., Danilov V.V. *Sistema otsenki transportno-ekspluatatsionnogo sostoyaniya pokrytiy perekhodnogo tipa lesnykh avtomobil'nykh dorog* [System for assessing the transport and operational condition of transitional pavements of forest roads]. [Woodworking Industry], 2020, no. 3, pp. 3–10.
- [34] Vyrko N.P., Leonovich I.I., Demidko M.N. *Vliyaniye sostoyaniya transportnykh putey na effektivnost' raboty lesovoznykh avtopoyezdov na vyvozke zagotovlennogo lesa* [The influence of the condition of transport routes on the efficiency of logging road trains in the removal of harvested timber]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2, pp. 37–39.
- [35] Stepanov A.V., Katarov V.K., Syuney V.S., Rat'kova Ye.I., Kolesnikov G.N. *Vliyaniye stabiliziruyushchikh dobavok na moduli uprugosti i deformatsii gruntovoy smesi osnovaniya dorozhnoy odezhdyy pri transportnom osvoyenii lesosyr'yevoy bazy yuga Respubliki Kareliya* [The influence of stabilizing additives on the elasticity and deformation moduli of the soil mixture of the road base during transport development of the timber resource base in the south of the Republic of Karelia]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry J.], 2024, v. 14, no. 3 (55), pp. 222–237.

Authors' information

Aleshina Natal'ya Vladimirovna✉ — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Petrozavodsk State University (PetrSU), kovaleva_natalia@petrsu.ru

Stepanov Artem Valer'yevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Petrozavodsk State University (PetrSU) stepanov@petrsu.ru

Katarov Vasilii Kuz'mich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Petrozavodsk State University (PetrSU), vkatarov@petrsu.ru

Received 20.11.2025.

Approved after review 05.05.2026.

Accepted for publication 18.05.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest