

А.В. Степанов, Е.Г. Емельянова, В.С. Сюнёв

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПГС
В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОСВОЕНИИ
ЛЕСОСЫРЬЕВОЙ БАЗЫ СЕВЕРА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

Введение. Республика Карелия находится на Северо-Западе России. Одной из основных отраслей экономики республики традиционно является лесная промышленность, занимающая порядка 40%. Лесная отрасль в Карелии активно развивалась во второй половине XX века. В этот период строились целые промышленные поселки у леспромхозов, некоторые из них получили статус поселков городского типа. Активно строилась сеть лесовозных дорог разных категорий; на сегодняшний день их протяженность составляет 5097 км, что эквивалентно 39,40% от общей протяженности дорог республики [Степанов, Петров, 2014]. Несомненно, значимость лесной дорожной сети республики очевидна ввиду ее расположения вблизи высокоразвитых и стратегически важных регионов России и стран Северной Европы, наличия выхода к Белому морю, разветвленной озерно-речной системы и обилия иных природных ресурсов [Final..., 2019]. Построенные ранее лесные дороги активно используются. Однако ввиду интенсивного движения и увеличения весовых параметров подвижного состава многие транспортные пути, по сути, находятся в аварийном состоянии [Лыткин и др., 2024].

Поддержание дорог в рабочем состоянии и дальнейшее развитие транспортной сети в регионе осложняют следующие проблемы:

- географические: территория всхолмленная, имеет много озер и рек, что не позволяет прокладывать трассы с минимальным коэффициентом удлинения; климат с частыми осадками и нестабильными зимами значительно влияет на надежность дороги в целом;
- экономические: бюджет республики ограничен, и при строительстве крупных инфраструктурных проектов привлекаются средства федерального бюджета;
- демографические: отдаленность и малонаселенность территории, требует большой протяженности дорог, но при этом их экономический эффект меньше, чем в густонаселенных регионах.

Для решения вышеуказанных проблем необходимо обеспечить прочность и долговечность дорог, что, в свою очередь, приводит к необходимости использования специальных материалов, устойчивых к климатическим воздействиям и нагрузкам, а также многослойных конструкций. Все это увеличивает затраты на строительство дорог и их содержание [Мохирев и др., 2024].

Дорожная одежда воспринимает и перераспределяет нагрузку от колес транспортных средств, являясь самым нагруженным звеном в конструкции дороги. Лучшим решением для покрытий становится использование щебня, т. к. он обладает хорошими показателями на сдвигоустойчивость и практически не меняет свои характеристики при переувлажненных условиях работы [Пролыгин и др., 2022; Степанов и др., 2025]. Щебень – это искусственный материал, требующий больших затрат при производстве. Если к этому добавляются затраты на логистику, то его применение становится экономически нецелесообразным, а, следовательно, необходимо искать альтернативные варианты строительных материалов [Кабакин и др., 2023; Чудинов, 2024]. Одним из таких материалов, способных выдерживать высокие осевые нагрузки лесовозных автопоездов, являются песчано-гравийные смеси (ПГС). ПГС – природный материал, затраты на его производство отсутствуют, что с экономической точки зрения делает его более привлекательным для использования в элементах лесных автомобильных дорог [Ковалева и др., 2015].

Цель исследования – оценка доступности песчаных и песчано-гравийных материалов для строительства лесовозных автомобильных дорог в Республике Карелия, а также технико-экономическое обоснование целесообразности применения ПГС при строительстве лесовозных автомобильных дорог в сравнении с использованием щебня с учетом их стоимости и транспортно-логистической схемы доставки.

Методика исследования. В теплый период года были совершены выезды в действующие песчаные и песчано-гравийные карьеры Республики Карелия с целью отбора проб песка и песчано-гравийной смеси. Отбор проб песка и его транспортировка осуществлялись в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014 и ГОСТ Р 58407.1-2020. В табл. 1 представлен перечень мест отбора проб песка и ПГС с указанием географических координат месторасположения карьеров.

На рис. 1 представлены фотографии с места сбора образцов из действующих карьеров.

Таблица 1

Координаты действующих карьеров**Coordinates of the existing pits**

Название песчаного карьера	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)	Название карьера ПГС	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)
20 км	66.028540, 32.657811	Новософпорожское	65.819056, 31.483732
Егутварака-2	65.236036, 33.779996	Нурмолицы-1	61.095112, 32.915781
Лососинское	61.665641, 34.138086	Укса	61.589253, 31.676162
Падмозеро-2	62.531273, 35.105518	Мусталампи	62.378225, 33.891851
Тэдино ПГМ	66.506898, 32.759407	Иматозеро-1	61.856549, 33.086843
Лумбуш-5	62.929418, 34.175145	Линнунваара	62.083994, 30.739320
Мусталампи	62.377366, 33.891754	Линнунваара-2	62.082301, 30.743007
Алхо-2	61.294851, 29.751226	Пряжа-5	61.720039, 33.633381
Нурмолицы	61.094930, 32.916018	Новое-2	61.813790, 34.194638
Нива	62.651370, 33.895724	Костомукша-1	64.531753, 30.924306
Ламота-2	61.632816, 33.523249	Валкиаярви	61.779091, 31.560033
Черное	65.225983, 33.795997	Егутварака-2	65.236075, 33.780011
Шарваозеро	66.002101, 33.054631	Падас	61.932204, 34.365098
Новое-2	61.813373, 34.194606	Родин-Ярви	61.614156, 33.193713
Падас	61.932042, 34.364733	Юманишки-1	61.755796, 33.736571
Кончезеро-2	62.203499, 34.014299	Пертиярви	65.248248, 31.077804

Окончание табл. 1

Название песчаного карьера	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)	Название карьера ППС	Координаты карьеров, (с.ш., в.д.)
Белая Лампи	61.724024, 33.708708	Сопоха-Кончезеро	62.214692, 34.021230
Сопоха-Кончезеро	62.213714, 34.020865	Кончезеро-2	62.204332, 34.014256
Квартал 94	61.672076, 33.604885	Керкешь	65.197491, 31.369627
Придорожное-1	61.171871, 29.801003	999 км	66.002838, 33.030632
Келиваара	61.693022, 31.448078	Лумбуш-5	62.930167, 34.175543
Пряжа-5	61.719784, 33.632930	—	—
Линнунваара	62.083956, 30.739417	—	—
Пряжинское (Южный участок)	61.711123, 33.674772	—	—
Укса	61.589125, 31.676001	—	—
Восьмерка	64.486110, 34.401811	—	—



а



б

Рис. 1. а – песчаный карьер вблизи п. Новая Вилга; б – процесс добычи песка в действующем карьере при использовании специализированной техники

Fig. 1. а – sand quarry near the village of Novaya Vilga; б – the process of sand extraction in an existing quarry using specialized equipment

При использовании песка в расчетах дорожных одежд необходимо знать группу песка: крупный, средней крупности, мелкий. Эту информацию можно получить, проведя испытания на определение зернового состава песка согласно ГОСТ 8735 -88 «Песок для строительных работ. Методы испытания» путем просушивания и последующим просеиванием (рис. 2).

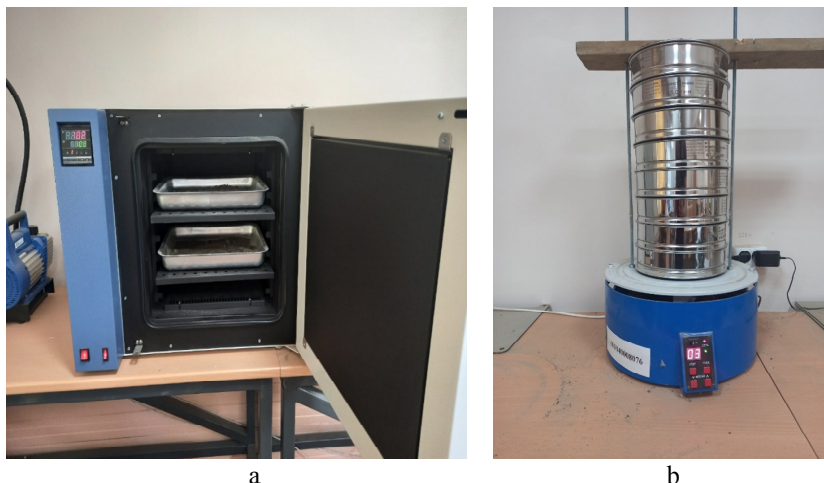


Рис. 2. Испытание образцов: (а) просушивание в сушильном шкафу;
(б) просеивание

Fig. 2. Sample testing: (a) drying in a drying cabinet; (b) sieving

Результаты исследования и обсуждение. Результат определения зернового состава песка представлен в табл. 2.

Таблица 2

Зерновой состав песка

The grain composition of the sand

№	Название карьера	Частные остатки на ситах, % по массе					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16
1	102	10,5	23,81	43,64	11,71	4,71	5,63
2	Белая Лампи	3,21	10,44	15,74	16,34	20,96	33,3
3	101	14,84	32,56	29,67	14,53	6,25	2,15
4	Полярный	6,26	25,23	32,8	16,87	18,06	0,78

Окончание табл. 2

№	Название карьера	Частные остатки на ситах, % по массе					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16
5	Новая Вилга	1,18	1,57	4,8	23,53	47,35	21,57
6	Алхо-2	1,58	1,92	2,6	11,17	44,59	38,15
7	20 км	17,97	34,91	25,26	9,8	9,3	2,76
8	Сопоха-Кончезеро	0,17	0,56	6,19	28,86	55,6	8,62
9	Нурмолицы	4,46	10,33	16,62	37,97	21,17	9,45
10	Падас	0,17	0,43	1,73	19,39	60,73	17,55
11	Валкиярви	23,13	21,51	15,39	11,81	18,82	9,35
12	Пряжа-5	9,89	25,19	31,14	11,86	7,95	13,97
13	Керкешь	3,98	6,69	13,56	22,03	44,14	9,6
14	Квартал 94	3,31	8,96	34,25	37,5	10,84	5,13
15	Пудож	0,16	0,44	6,55	45,58	42,13	5,14
16	Восьмерка	11,09	9,55	11,58	16,7	32,78	18,31
17	Келиваара	16,06	17,5	20,16	23,05	15,64	7,61
18	Шарваозеро	4,17	8,25	28,85	35,58	15,65	7,51
19	Егутварака-2	6,37	8,02	10,42	20,02	41,52	13,65
20	Линнунваара-2	0,74	0,73	8,65	22,76	44,68	22,44
21	Пряжинское	3,47	9,24	16,7	19,4	21,93	29,26
22	103	16,9	17,6	15,43	14,76	25,56	9,75
23	104	12,16	17,44	16,35	14,18	25,69	14,18
24	Черное	1,72	5,51	9,87	35,09	45,27	2,54
25	Иматозеро	0,16	0,21	1,41	22,94	66,16	9,12
26	Кончезеро	0,13	1,29	16,46	35,06	39,77	7,3

Для характеристики песка по размеру был рассчитан модуль крупности песка M_k по формуле (1):

$$M_k = \frac{X_{2,5} + X_{1,25} + X_{0,63} + X_{0,315} + X_{0,16}}{100}, \quad (1)$$

где X_i – полные остатки на соответствующих ситах, % по массе (2).

$$X_i = x_{2,5} + x_{1,25} + \dots x_i, \quad (2)$$

где x_i – частные остатки на соответствующих ситах, % по массе.

Значения полных остатков и модуля крупности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Модуль крупности**The size module**

№	Название карьера	Полные остатки на ситах, % по массе						Модуль крупности
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	менее 0,16	
1	Иматозеро	0,16	0,37	1,78	24,72	90,88	100	1,18
2	Пряжинское	3,47	12,71	29,42	48,81	70,74	100	1,65
3	Кончезеро	0,13	1,42	17,88	52,93	92,7	100	1,65
4	Нурмолицы	4,46	14,79	31,41	69,38	90,55	100	2,11
5	Шарваозеро	4,17	12,42	41,26	76,84	92,49	100	2,27
6	Квартал 94	3,31	12,27	46,53	84,03	94,87	100	2,41
7	104	12,16	29,6	45,95	60,13	85,82	100	2,34
8	102	10,5	34,31	77,94	89,66	94,37	100	3,07
9	Белая Лампи	3,21	13,65	29,39	45,73	66,7	100	1,59
10	103	16,9	34,5	49,93	64,69	90,25	100	2,56
11	Черное	1,72	7,23	17,1	52,19	97,46	100	1,76
12	Пудож	0,16	0,6	7,15	52,73	94,86	100	1,56
13	Полярный	6,26	31,49	64,28	81,16	99,22	100	2,82
14	Новая Вилга	1,18	2,75	7,55	31,08	78,43	100	1,21
15	Падас	0,17	0,6	2,33	21,72	82,45	100	1,07
16	Валкиярви	23,13	44,63	60,02	71,83	90,65	100	2,9
17	Керкешь	3,98	10,67	24,23	46,26	90,4	100	1,76
18	20 км	17,97	52,88	78,14	87,94	97,24	100	3,34
19	Линнунваара-2	0,74	1,47	10,13	32,89	77,56	100	1,23
20	Пряжа-5	9,89	35,08	66,22	78,08	86,03	100	2,75
21	Восьмерка	11,09	20,64	32,22	48,92	81,69	100	1,95
22	101	14,84	47,4	77,07	91,6	97,85	100	3,29
23	Келиваара	16,06	33,55	53,71	76,76	92,39	100	2,72
24	Егутварака-2	6,37	14,39	24,81	44,83	86,35	100	1,77
25	Сопоха-Кончезеро	0,17	0,73	6,92	35,78	91,38	100	1,35
26	Алхо-2	1,58	3,5	6,1	17,27	61,85	100	0,9

Согласно п.4.3.3 ГОСТа 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия» в природной песчано-гравийной смеси содержание зерен гравия должно быть не менее 10% и не более 90% по массе. Для подтверждения факта, что взятые пробы соответствуют требованиям, предъявляемым для песчано-гравийных смесей, были проведены испытания на определение зернового состава.

Зерновой состав для ПГС определяли по ГОСТ 8269.0-97. «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

По ГОСТу сита должны соответствовать номинальным размерам зерен испытуемой фракции: 1,25Д; Д; 0,5 (Д+d); d, а также 2,5 и 1,25 мм, где Д – это максимальный размер, мм; d – минимальный размер, мм. Для отсева фракций от 5(3) до 20 мм применяли сито с размером отверстий 10 мм.

Также мы добавили сита 0,63 мм и 0,16 мм для получения большей информации для дальнейших исследований. Результат отсева пробы по фракциям и процесс взвешивания каждой из них показаны на рис. 3.

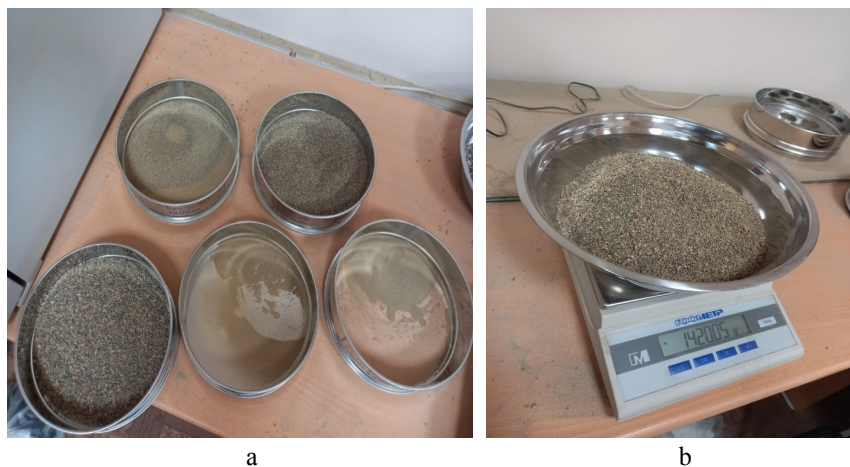


Рис. 3. (а) Рассев на ситах; (б) взвешивание остатка
Fig. 3. (a) Sieving on sieves; (b) weighing the remainder

По результатам просеивания определили частные остатки на каждом сите путем взвешивания.

Результаты испытания представлены в табл. 4.

Таблица 4

Зерновой состав ПГС

Grain composition

№	Название	Наиболее крупное зерно	Частные остатки на ситах, % по массе								
			1,25Д	Д	0,5(Д+d)	d	2,5	1,25	0,63	0,16	< 0,16
1	Новософпорожское-2	70	0	0	9,03	3,3	56,58	20,21	7,79	2,46	0,62
2	999 км	70	0	0	8,61	2,92	51,18	10,35	7,39	12,75	6,81
3	Родин-Ярви	40	0	0	14,03	1,19	26,17	27,16	18,69	11,64	1,13
4	Сопоха-Кончезеро	10	0	0	13,51	0,37	0,55	0,74	31,02	47,63	5,83
5	Юманишки-1	40	0	0	9,89	2,79	29,56	40,13	8,41	8,65	0,57
6	Юманишки-2	40	0	1,1	14,54	2,3	16,04	34,6	24,18	7,9	0,43
7	Пряжа-5	20	0	0	14,45	3,35	13,73	27,53	13,11	19,26	8,58
8	Полярный	40	0	0	15,02	0,73	8,96	16,43	29,73	28,68	0,82
9	Валкиаярви	20	0	0	11,13	1,53	23,21	21,53	14,61	19,66	8,32
10	Нурмолицы-1	40	0	0	10,24	3,13	4,88	9,03	18,42	36,11	18,2
11	Линнунваара-2	20	0	0	12,08	3,08	0,79	0,63	4,89	35,72	42,82
12	Новософпорожское	40	0	0	11,77	2,11	19,92	20,77	25,17	20,41	0,99
13	Машезерский	70	0	0	12,94	10,31	35,33	9,74	9,52	18,43	3,73
14	Имагозеро-1	10	0	0	10,63	0,61	0,23	0,3	1,59	76,07	11,58
15	Квартал 94	40	0	2,95	10,47	1,46	11,97	13,43	21,36	20,29	21,01
16	Новая Вилга-2	40	0	3,03	9,73	3,11	22,79	13,79	12,21	33,98	4,4
17	Тэдино	70	0	0	8,11	2,73	46,7	4,88	8,68	25,86	3,05
18	59 квартал	40	0	2,45	11,81	4,24	25,41	12,03	16,58	21,04	8,92
19	Падас	10	0	0,54	14,98	0,6	0,2	0,34	1,41	65,98	17,33
20	Керкешь	70	0	0	10,38	3,47	11,84	4,3	5,32	44,19	20,49
21	Егутварака-2	40	0	0	0	12,99	34,83	7,89	9,22	23,06	12,01

Как видно из полученных результатов, каждая проба соответствует требованиям природной песчано-гравийной смеси.

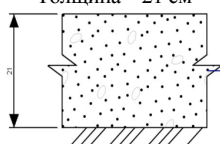
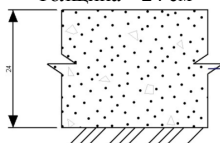
Для объективного сравнения использования щебня и гравийных смесей был сделан расчет несущей способности конструкции дорожной одежды при равных условиях расположения дороги и нагрузки. Расчет сделан по нововведенной методике согласно ГОСТР 71244-2024 «Дороги автомобильные с низкой интенсивностью движения. Дорожная одежда.

Конструирование и расчет», который распространяется на дорожные одежды переходного и низшего типов автомобильных дорог. Расчеты выполняли в программном комплексе Индорсофт «IndorPavement: Расчет дорожных одежд». Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты расчета дорожных одежд

Calculation results of road clothes

№ варианта	Наименование слоев и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль деформации на поверхности слоев, МПа	Модуль деформации, МПа
Вариант №1	Конструктивный слой №1 – смеси гравийные с непрерывной гранулометрией 22,5 мм (для покрытий)	Толщина – 21 см 	$E_{общ}=31$	$E_d=80$ $K_{тр}=1,000$ $K_{расч}=1,000$ Запас=0%
	Грунт земляного полотна – Супесь легкая крупная		$E_{общ}=15$	$E_d=15$
Вариант №2	Конструктивный слой №1 – смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией 22,5 мм (для покрытий)	Толщина – 24 см 	$E_{общ}=32$	$E_d=70$ $K_{тр}=1,000$ $K_{расч}=1,020$ Запас=2%
	Грунт земляного полотна – Супесь легкая крупная		$E_{общ}=15$	$E_d=15$

Отсюда требуемое количество материала на 1 км дороги будет рассчитываться по формуле (3):

$$V_{щ} = B * H * L * K_{з\gamma}, \quad (3)$$

где B – ширина дороги по верху, м; H – толщина слоя, м; L – длина участка, м; $K_{з\gamma}$ – коэффициент запаса на уплотнение.

Объем щебня равен 2448 м^3 , объем ПГС – 2142 м^3 .

Оценка технико-экономической эффективности производилась путем расчета и сравнения сметной стоимости материалов при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки.

Районы Республики Карелия делятся на две ценовые зоны: 1-я зона – районы, приравненные к районам Крайнего Севера; 2-я зона – районы Крайнего Севера.

Объект строительства находится в Муезерском районе Республики Карелия (1-я ценовая зона). Ближайший карьер по добыче щебня распола-

гается в г. Медвежьегорске. При расчете среднее расстояние возки дорожно-строительного материала от места производства до места строительства дорожной одежды составляет 288 км по следующим типам дорог: 232 км – усовершенствованное (асфальтобетонное) дорожное покрытие, 56 км – переходное (гравийное) дорожное покрытие. Перевозка осуществляется бортовыми автомобилями грузоподъемностью до 20 тонн. Класс груза – 1.

Ближайший карьер по добыче ПГС находится в Муезерском районе на расстоянии не более 20 км от места строительства. В данном случае затраты на перевозку данного материала не учитываются, так как в сметной стоимости материала уже учтены затраты на транспортировку до 30 км согласно п. 63 приказа Минстроя России №421.

Расчет сметной стоимости производится ресурсно-индексным методом с применением федеральной сметно-нормативной базы ФСНБ–2022 в соответствии с Методикой определения сметной стоимости строительства.

Стоимость материалов для расчета взята из сплит-формы федеральной государственной информационной базы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС). При расчетах приняты следующие стоимости дорожно-строительных материалов в уровне цен на 4 квартал 2024 г.:

- смесь щебеночная, щебень из плотных горных пород М1200, (код ресурса 02.2.04.04 – 0123) – 1414,86 рублей (без НДС);
- смесь песчано-гравийная обогащенная с содержанием гравия 50–65% (код ресурса 02.2.04.03 – 0014) – 1121,98 рублей (без НДС).

Ранее проведенные расчеты показали, что для строительства 1 км лесовозной автомобильной дороги требуется: щебня – 2448 м³; ПГС – 2142 м³. Следовательно, стоимость материалов на весь объем составит: щебня – 3 463 577,3 рублей (1414,86х2448); ПГС – 2 403 281,16 рублей (1121,98х2142).

Для расчета стоимости перевозки грузов использовались расценки, взятые из сплит-формы ФГИС ЦС:

- при перевозке груза 1 класса по асфальтобетонному дорожному покрытию на расстояние 202 км – 1262,21 рублей за 1 тонну (код перевозки 01-20-1-01-0203);
- при перевозке груза 1 класса по гравийному дорожному покрытию на расстояние 56 км – 783,39 рублей за 1 тонну (код перевозки 01-20-1-02-0056).

Насыпная плотность гранитного щебня 20-40 – 1,38 т/м³. Для дальнейшего расчета стоимости перевозки материала принимаем массу перевозки щебня равной 3378 тонн.

Используя принятую методику по расчету затрат на транспортировку груза получаем, что стоимость перевозки щебня по асфальтобетонному покрытию составила 3 325 721,4 рублей, стоимость перевозки щебня по гравийному дорожному покрытию – 582 183,6 рублей. Общие затраты на перевозку щебня от поставщика до места строительства составляют 3 907 905 рублей.

Таким образом, сметная стоимость щебня и затраты на его перевозку до объекта строительства на 1 км дороги составляют 7 371 482,3 рублей.

Если для строительства лесовозных автомобильных дорог использовать местную песчано-гравийную смесь, то сметная стоимость материала на 1 км дороги составляет 2 403 281,16 рублей. Следовательно, применяя песчано-гравийную смесь, можно сэкономить за счет стоимости материала на 1 км строительства лесовозных автомобильных дорог около 5 млн рублей.

Результаты исследования показали, что на стоимость строительства дорожной одежды лесовозных автомобильных дорог в значительной степени влияет транспортно-логистическая схема доставки материалов: с увеличением дальности перевозки стоимость устройства дорожной одежды из щебня возрастает, чего нельзя сказать о стоимости устройства дорожной одежды из песчано-гравийной смеси.

Исследуя стоимость материалов при строительстве 1 км равнопрочных конструкций дорожных одежд лесовозной автомобильной дороги для 2-й ценовой зоны, мы также использовали данные сметной стоимости материалов из сплит-формы ФГИС ЦС на 4 кв. 2024 г. Предположительно, объект строительства находится в Калевальском районе Республики Карелия.

Для 2-й ценовой зоны стоимость 1 м³ щебня составляет 1476,25 рублей, 1 м³ ПГС – 4467,49 рублей. Столь высокая цена ПГС объясняется применением индекса изменения сметной стоимости к группе однородных строительных ресурсов, который составил 2,19 к цене 1 м³ ПГС на 01.01.2022 г. Следовательно, для нашего объема строительства стоимость материалов составляет: щебня – 3 613 860 рублей; песчано-гравийной смеси – 9 569 363 рублей.

Особенность расчета сметной стоимости материалов для 2-й ценовой зоны заключается в том, что в ней уже учтены транспортные затраты, независимо от расстояния перевозки. Следовательно, при расчете сметной стоимости строительства объекта затраты на перевозку строительных материалов в смете дополнительно не рассчитываются. Данный пример свидетельствует, что экономически целесообразно применять в качестве дорожной одежды щебень.

Проведенные исследования показали, что строительство дорог в 1-й ценовой зоне целесообразно выполнять с применением ПГС. Для 2-й ценовой зоны при выборе строительного материала необходимо предварительно проводить мониторинг цен.

Заключение. На основе выполненного исследования мы делаем следующие выводы:

1. Установлено, что Республика Карелия имеет относительно равномерное распространение песчаных и песчано-гравийных карьеров по всей территории;

2. Все пробы песка и песчано-гравийных смесей, взятые с 26 основных карьеров республики, соответствуют ГОСТ 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия»;

3. Выполненный расчет несущей способности конструкции дорожной одежды по методике, введенной ГОСТР 71244-2024 от 01.03.2024 г., не учитывает критерии на сдвигоустойчивость, статическую нагрузку и изгиб, а ключевым показателем при расчетах является модуль деформации, а не модуль упругости, как в других методиках. Эти особенности практически уравнивали между собой расчетные характеристики материалов ПГС и щебня. При расчете объемов материалов на 1 км щебня нужно на 306 м³ больше;

4. Проведенная оценка технико-экономической эффективности путем расчета и сравнения сметной стоимости материалов при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки позволила увидеть выгодную разницу в размере 4927295,04 рублей с 1 км дороги при использовании ПГС для 1-й ценовой зоны. Для 2-й ценовой зоны, т.е. районов Крайнего Севера, из-за изменений в методике ценообразования щебень выгоднее ПГС на 5955503 рубля.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Кабакин М.Д., Замуруев А.В., Курлыкина А.В., Кузнецов Д.А. Теоретические аспекты укрепления грунта в дорожном строительстве // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2023. № 3 (33). С. 64–74.

Ковалева Н.В., Катаров В.К., Сюнёв В.С. Обеспечение прочностных характеристик дорожной конструкции при строительстве лесных дорог по технологии «из канав» // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2015. №43. С.153–155.

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. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-290-313.

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. Т. 21, №2. С. 114–128. DOI: 10.15393/j2.art.2024.7823.

Пролыгин А.С., Александров А.С., Долгих Г.В. Модуль деформации грунто-щебеночной смеси для проектирования дорожных одежд // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сб. мат. V нац. науч.-практ. конф. Омск, 2022. С. 414-422.

Степанов А.В., Петров А.Н. Анализ сети лесовозных дорог республики Карелия // Ученые записки ПетрГУ. 2014. Т.2, №8(145). С. 78–81.

Степанов А.В., Винокурова Т.Г., Катаров В.К., Симонова И.В., Сюнёв В.С. Каменные дорожно-строительные материалы Республики Карелия: география размещения и возможности применения на лесных дорогах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2025. №2 (66). С.97-107. DOI: 10.25686/2306-2827.2025.2.97.

Чудинов С.А. Оценка технико-экономической эффективности строительства лесовозных автомобильных дорог из фиброцементогрунта // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 230–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.230-243.

Final report on the project KA1029 “Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation” (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86p.

References

Chudinov S.A. Assessment of the technical and economic efficiency of construction of logging roads from fiber cement soil. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 230–243. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.230-243. (In Russ.)

Final report on the project KA1029 “Innovations, research and education for roads and transport as an engine for growing cross-border business cooperation” (IRERT). Petrozavodsk, 2019. 86p.

Kabalin M.D., Zamuruev A.V., Kurlykina A.V., Kuznecov D.A. Theoretical aspects of soil strengthening in road construction. *Bulletin of GSTOU. Technical Sciences*, 2023, no. 3 (33), pp. 64-74. (In Russ.)

Kovaleva N.V., Katarov V. K., Syunev V. S. Ensuring the strength characteristics of the road structure during the construction of forest roads using the “from ditches” technology. *Actual problems of the forest complex*, 2015, no. 43, pp.153–155. (In Russ.)

Lytkin A.A., Dolgikh G.V., Prolygin A.S. Ways to increase the inter-maintenance period of roads. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2024, no. 2 (96), pp. 290-313. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-290-313. (In Russ.)

Mokhirev A.P., Servatinskiy V.V., Dudin P.O., Sorokina M.N., Mokhirev I.A., Sokolova A.R. Analysis of factors affecting the bearing capacity of a paved highway. *Resources and Technology*, 2024, vol. 21, no. 2, pp. 114-128. DOI: 10.15393/j2.art.2024.7823. (In Russ.)

Prolygin A.S., Aleksandrov A.S., Dolgikh G.V. Soil crushed stone deformation module for road design. *Obrazovanie. Transport. Innovatsii. Stroitelstvo*: collection of mat. of V nat. sci.-pract. conf. Omsk, 2022, pp. 414-422. (In Russ.)

Stepanov A.V., Petrov A.N. Analysis of the network of logging roads of the Republic of Karelia. *Uchenye zapiski PetrGU*, 2014, vol. 2, no. 8(145), pp. 78-81. (In Russ.)

Stepanov A.V., Vinokurova T.G., Katarov V.K., Simonova I.V., Syunyov V.S. Stone road-building materials of the Republic of Karelia: geographical location and application possibilities on forest roads. *Bulletin of the Volga State Technological University. The series "Forest. Ecology. Environmental management"*, 2025, no. 2(66), pp. 97-107. DOI: 10.25686/2306-2827.2025.2.97. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.03.2025

Степанов А.В., Емельянова Е.Г., Сюнёв В.С. Техничко-экономическое обоснование целесообразности применения ПГС в дорожной одежде при транспортном освоении лесосырьевой базы севера республики Карелия // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 257. С. 274–290. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.274-290

Дефекты и неровности дорожного покрытия снижают скорость перевозки лесного сырья на 30-35%, повышая стоимость транспортировки на 50–60%. На участках с низкой несущей способностью грунтов, в подавляющем большинстве характерных для Республики Карелия, эта проблема усугубляется наличием повышенного уровня грунтовых вод и, как следствие, пучин и просадок дорожного полотна. Снижение вероятности возникновения подобных дефектов возможно за счет применения местных каменных материалов. Таким материалом для Республики Карелия является песчано-гравийная смесь (ПГС), получаемая в своем природном состоянии. Технология строительства лесовозных дорог с применением гравийных смесей требует изучения на соответствие нормам в действующих и потенциальных карьерах, анализа размещения мест добычи, возможности доставки ПГС для строительства и ремонта лесных дорог. В статье выполнен анализ географии размещения мест добычи песка и песчано-гравийной смеси в Республике Карелия, приведены результаты исследования их качественных свойств, сделана оценка технико-

экономической эффективности путем расчета и сравнения сметной стоимости щебня и ПГС при строительстве в зависимости от транспортно-логистической схемы их доставки.

Ключевые слова: лесовозные дороги, дорожно-строительные материалы, песчано-гравийная смесь, щебень.

Stepanov A.V., Emelyanova E.G., Syunев V.S. Feasibility study of the feasibility of using sand and gravel mixture in road surfaces during transport development of the timber resource base in the north of the Republic of Karelia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2026, iss. 257, pp. 274–290 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.257.274-290

Defects and unevenness of the road surface reduces the speed of transportation of forest raw materials by 30-35%, increasing the cost of transportation by 50-60%. In areas with low bearing capacity of soils, which are overwhelmingly typical for the Republic of Karelia, this problem is aggravated by the presence of elevated groundwater levels and, as a result, deepens and subsidence of the roadway. Reducing the likelihood of such defects is possible when using local stone materials. Such a material for the Republic of Karelia is a sand-gravel mixture (SGM) obtained in its natural state. The technology of construction of logging roads using gravel mixes requires studying it for compliance with standards in existing and potential quarries, analyzing the location of mining sites, and the possibility of delivering it for the construction and repair of forest roads. The article analyzes the geography of the location of sand and sand-gravel mixture extraction sites in the Republic of Karelia, presents the results of a study of its qualitative properties, evaluates the technical and economic efficiency by calculating and comparing the estimated cost of crushed stone and SGM during construction, depending on the transport and logistics scheme of their delivery.

Keywords: logging roads, road-building materials, sand-gravel mixture, crushed stone.

СТЕПАНОВ Артем Валерьевич – заведующий кафедрой технологии и организации строительства Петрозаводского государственного университета, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0003-4495-6883. SPIN-код: 4044-9511.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: stepanov@petrsu.ru

STEPANOV Artem V. – PhD (Technical), Head of the Department of Technology and Organization of Construction, Petrozavodsk State University, Associate Professor. ORCID: 0000-0003-4495-6883. SPIN-code: 4044-9511.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: stepanov@petrsu.ru

ЕМЕЛЬЯНОВА Елена Геннадьевна – доцент кафедры технологии и организации строительства Петрозаводского государственного университета, кандидат экономических наук. SPIN-код: 9664-0635.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: zhenemel@mail.ru

EMELIANOVA Elena G. – PhD (Economical), Associate Professor, Department of Technology and Organization of Construction, Petrozavodsk State University. SPIN-code: 9664-0635.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk Russia. E-mail: zhenemel@mail.ru

СЮНЁВ Владимир Сергеевич – профессор Петрозаводского государственного университета, доктор технических наук. ORCID: 0000-0002-2558-2671. SPIN-код: 4088-7343.

185910, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия. E-mail: siounev@petsu.ru

SYUNEV Vladimir S. – DSc (Technical), Professor, Petrozavodsk State University. ORCID: 0000-0002-2558-2671. SPIN-code: 4088-7343.

185910. Lenina av. 33. Petrozavodsk. Russia. E-mail: siounev@petsu.ru