

УДК 630.31:656.02

**Р. О. Короленя, Е. И. Барташевич**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ  
СОРТИМЕНТОВОЗА НА МАРШРУТАХ ПЕРЕВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Лесозаготовительное производство с точки зрения логистики – сложная, динамичная и многоуровневая система, одной из ключевых и важнейших подсистем которой является подсистема перевозок. Важным аспектом в организации функционирования данной подсистемы является нахождение оптимального решения задачи маршрутизации, которое влияет на общие показатели эффективности логистической системы лесозаготовительного производства. Особую важность решение данной задачи приобретает в условиях ограничений по времени для принятия управленческих решений. Нередки случаи на практике, когда при оперативном управлении процессом перевозок пренебрегают нахождением оптимальных маршрутов по тем или иным критериям оптимальности либо при формировании графика работы сортиментовозов основываются на интуитивном подходе, что может привести к снижению основных показателей эффективности работы лесовозных транспортных средств на вывозке древесины.

В этой связи для изучения основных показателей работы сортиментовозов при перевозке древесины на различных маршрутах проведен численный эксперимент, в рамках которого нами осуществлено моделирование работы сортиментовоза при различных схемах перевозок. Для каждой из моделируемых схем работы было установлено четыре критерия объезда потребителей: от ближайшего к складу потребителя; от дальнего по расположению к складу потребителя; от первого по номеру потребителя; от первого по номеру потребителя, последовательно выполняя каждому потребителю по одному рейсу. Для каждой возможной ситуации были получены значения основных показателей работы сортиментовозов и проведена их оценка.

**Ключевые слова:** сортиментовоз, перевозка древесины, маршрут движения, коэффициент использования пробега, грузовая работа.

**Для цитирования:** Короленя Р. О., Барташевич Е. И. Основные результаты моделирования работы сортиментовоза на маршрутах перевозки древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 134–142. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-16.

**R. O. Korolenia, E. I. Bartashevich**

Belarusian State Technological University

**THE MAIN RESULTS OF MODELING LOG TRUCK OPERATIONS  
ON THE TIMBER TRANSPORTATION ROUTES**

In terms of logistics, the lumber industry is a complex, dynamic and multi-level system. One of the crucial subsystems of the lumber industry is the transport subsystem. An important dimension of the operation of this subsystem is to find the best solution to the routing problem. This solution effects the performance indicators of logistics system of the lumber industry. This task is particularly important when there is a time constraint on management decisions. In practice, it is frequent for operational transport management is neglected the search for optimal routes according to various optimality criteria or schedule timber trucks intuitively. It can lead to decline in the performance indicators of timber vehicles on a timber hauling.

In this connection, a numerical experiment was conducted for study the main performance indicators of log trucks when transporting timber on different routes. As part of the experiment, we simulated the operation of a log truck for various transport schemes. Four criteria for detouring consumers were established for each of the modelled schemes of operation: from the customer's nearest stock; from the furthest away in terms of location to the customer's stock; from the first numbered customer; from the first numbered customer, then consecutively, but performing one round trip for each customer. For each possible situation, the values of the main performance indicators of the log trucks were obtained and evaluated.

**Keywords:** log truck, timber transportation, traffic route, mileage utilization rate, freight work.

**For citation:** Korolenia R. O., Bartashevich E. I. The main results of modeling log truck operations on the timber transportation routes. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 134–142. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-16 (In Russian).

**Введение.** Сортиментная технология лесозаготовок позволяет осуществлять доставку круглых лесоматериалов непосредственно конечному потребителю («во двор потребителя»). Перевозка древесины потребителям при этом может осуществляться с использованием различных вариантов организации работы сортиментовозов на маршрутах [1–3]. Неравномерность во времени заготовки и потребления древесины, несовершенство планирования взаимодействия процессов перевозки и заготовки древесины зачастую вынуждают на практике организовывать работу лесовозных транспортных средств различными способами [4–6]. Так, например, определение пункта погрузки следующего рейса сортиментовоза может осуществляться «на ходу», т. е. в момент выполнения текущего рейса. Такой подход, без экономического обоснования и оптимизации, может приводить к снижению эффективности процесса перевозки.

В качестве одного из подходов оптимизации и решения данной проблемы можно использовать решение задачи маршрутизации [7].

Анализ литературных источников [2, 7–13] показывает, что решением подобных задач маршрутизации в различных постановках и с разными критериями оптимизации занимались многие ученые. Но в рассматриваемых литературных источниках не проводится сравнительный анализ выбора того или иного маршрута с точки зрения основных показателей работы лесовозных транспортных средств. Поэтому проведение исследования для количественной оценки последствий выбора работы сортиментовозов на различных маршрутах является актуальной задачей.

**Основная часть.** С целью определения основных показателей работы сортиментовозов при перевозке древесины на различных маршрутах ранее проводились подобные исследования [4–6]. Для постановки задачи и ее масштабирования было выполнено моделирование процесса перевозок древесины с использованием MS Excel и MathCad, включающее большое число корреспондирующих пунктов и определяемых показателей.

Основные показатели работы сортиментовозов определялись по методикам, изложенным в работах [14–16].

В настоящей работе осуществлено моделирование перевозок в производственных ситуациях по схемам 1–5.

*Схема 1.* На одном промежуточном складе С1 (рис. 1) имеется запас однородных сортиментов в объеме 625 м<sup>3</sup>. Древесину необходимо доставить на пять пунктов выгрузки у потребителей П1–П5 (рис. 1) с заданными потребностями. Перевозка осуществляется сортиментовозом с фактической грузоподъемностью 25 м<sup>3</sup>.

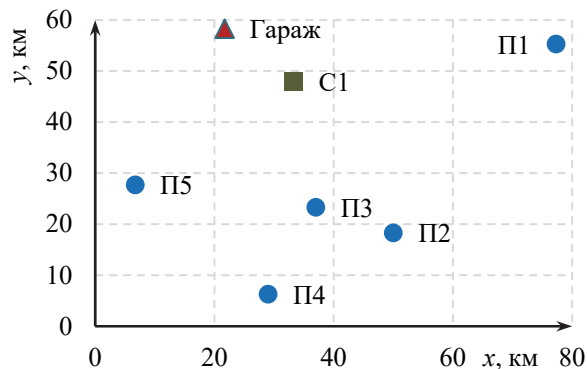


Рис. 1. Схема с одним промежуточным складом

*Схема 2.* Исходные данные те же, что и по схеме 1, но заявленный объем сортиментов сосредоточен на двух промежуточных складах С1, С2 (рис. 2). Причем на складе С1 сосредоточено 300 м<sup>3</sup> древесины, на складе С2 – 325 м<sup>3</sup>.

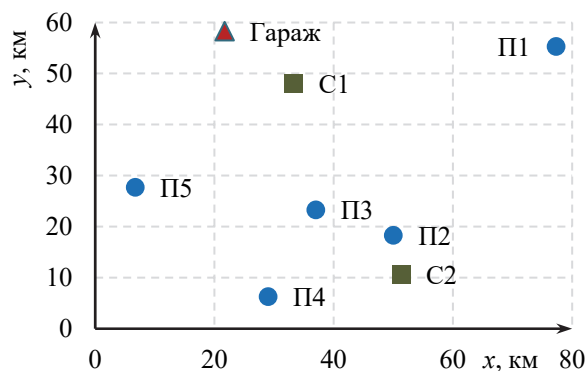


Рис. 2. Схема с двумя промежуточными складами

*Схема 3.* Исходные данные те же, что и по схеме 1, но заявленный объем сортиментов сосредоточен на трех промежуточных складах С1, С2, С3 (рис. 3). Запасы на складах: С1 – 225 м<sup>3</sup>; С2 – 200 м<sup>3</sup>; С3 – 200 м<sup>3</sup> древесины.

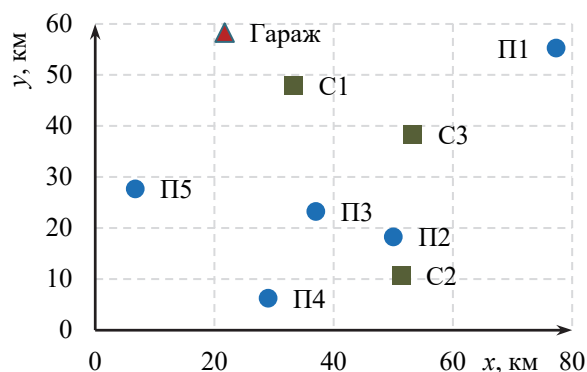


Рис. 3. Схема с тремя промежуточными складами

*Схема 4.* Условия те же, что и по схеме 1, но заявленный объем сортиментов сосредоточен на четырех складах (рис. 4): С1 – 175 м<sup>3</sup>; С2 – 150 м<sup>3</sup>; С3 – 150 м<sup>3</sup>; С4 – 150 м<sup>3</sup>.

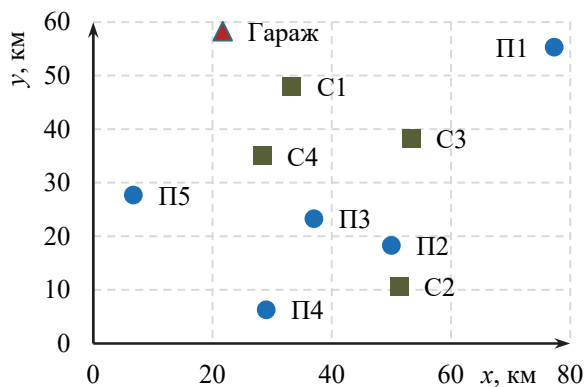


Рис. 4. Схема с четырьмя промежуточными складами

Схема 5. Условия те же, что и по схеме 1, но заявленный к перевозке объем сортиментов равномерно сосредоточен на пяти складах (рис. 5) – на каждом складе по 125 м<sup>3</sup>.

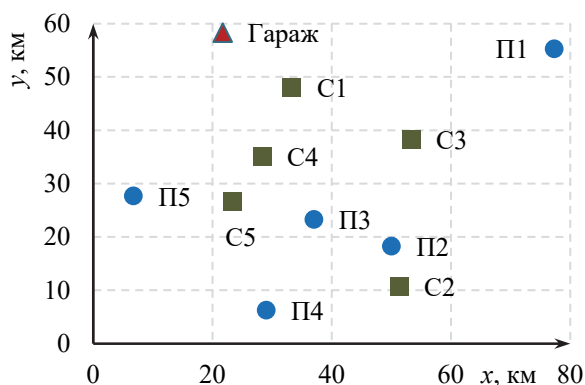


Рис. 5. Схема с пятью промежуточными складами

Необходимо отметить, что в качестве промежуточного склада может выступать любой поставщик древесины, в том числе отдельные лесосеки. Координаты всех корреспондирующих пунктов были выбраны произвольно.

Чтобы не потерять общности и упростить процесс моделирования, при решении поставлен-

ной задачи были использованы некоторые допущения и наложены следующие ограничения:

1) заявленный к перевозке объем древесины должен быть доставлен потребителям;

2) перевозки происходят непрерывно одним транспортным средством в составе тягача – сортиментовозом. Ограничений по срокам поставок нет;

3) удельная себестоимость транспортной работы принята равной: с грузом – 0,6 усл. ед./км·м<sup>3</sup>; без груза – 0,5 усл. ед./км;

4) основные показатели: грузовая работа, пройденный путь без груза, коэффициент использования пробега, затраты на перевозку;

5) назначение рейсов (последовательность объезда потребителей) каждой из моделируемых схем осуществлялось по следующим критериям:

– от ближайшего к складу потребителя;

– от дальнего по расположению к складу потребителя;

– от первого по номеру потребителя и далее последовательно (по номерам потребителей);

– от первого по номеру потребителя, последовательно выполняя каждому из них по одному рейсу;

6) потребности составляют: П1 – 125 м<sup>3</sup>; П2 – 100 м<sup>3</sup>; П3 – 150 м<sup>3</sup>; П4 – 75 м<sup>3</sup>; П5 – 175 м<sup>3</sup>;

7) координаты (рис. 1–5), км: C1 ( $x = 33,3$ ;  $y = 48,0$ ), C2 ( $x = 51,3$ ;  $y = 10,7$ ), C3 ( $x = 53,3$ ;  $y = 38,3$ ), C4 ( $x = 28,3$ ;  $y = 35,0$ ), C5 ( $x = 23,3$ ;  $y = 26,7$ ), П1 ( $x = 77,3$ ;  $y = 55,3$ ), П2 ( $x = 50,0$ ;  $y = 18,3$ ), П3 ( $x = 37,0$ ;  $y = 23,3$ ), П4 ( $x = 29,0$ ;  $y = 6,3$ ), П5 ( $x = 6,7$ ;  $y = 27,7$ ), гараж ( $x = 21,7$ ;  $y = 58,3$ );

8) пунктом начала и окончания перевозки при моделировании всех схем является гараж.

На первом этапе моделирования процесса перевозки проведены расчеты основных показателей для каждой схемы и по каждому критерию назначения рейсов. Примеры расчета представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Расчет показателей работы сортиментовоза по схеме 1, критерий назначения рейсов – начиная от ближайшего к складу потребителя

Номер рейса	Пройденный путь, км				Перевезенный объем $q$ , м <sup>3</sup>	
	нулевой $l_0$	с грузом $l_{гр}$	без груза $l_{бгр}$	за рейс $l_p$		всего $l$
1	15,4	24,8	24,8	65,0	65,0	25,0
2	–	24,8	24,8	49,6	114,6	25,0
3	–	24,8	24,8	49,6	164,2	25,0
4	–	24,8	24,8	49,6	213,8	25,0
5	–	24,8	24,8	49,6	263,4	25,0
6	–	24,8	24,8	49,6	313,0	25,0
7	–	33,3	33,3	66,6	379,6	25,0
8	–	33,3	33,3	66,6	446,2	25,0
9	–	33,3	33,3	66,6	512,8	25,0
10	–	33,3	33,3	66,6	579,4	25,0

Окончание табл. 1

Номер рейса	Пройденный путь, км					Перевезенный объем $q$ , м <sup>3</sup>
	нулевой $l_0$	с грузом $l_{гр}$	без груза $l_{бгр}$	за рейс $l_p$	всего $l$	
11	–	33,3	33,3	66,6	646,0	25,0
12	–	33,3	33,3	66,6	712,6	25,0
13	–	33,3	33,3	66,6	779,2	25,0
14	–	37,3	37,3	74,6	853,8	25,0
15	–	37,3	37,3	74,6	928,4	25,0
16	–	37,3	37,3	74,6	1003,0	25,0
17	–	37,3	37,3	74,6	1077,6	25,0
18	–	42,1	42,1	84,2	1161,8	25,0
19	–	42,1	42,1	84,2	1246,0	25,0
20	–	42,1	42,1	84,2	1330,2	25,0
21	–	44,7	44,7	89,4	1419,6	25,0
22	–	44,7	44,7	89,4	1509,0	25,0
23	–	44,7	44,7	89,4	1598,4	25,0
24	–	44,7	44,7	89,4	1687,8	25,0
25	–	44,7	–	44,7	1732,5	25,0
26	55,7	–	–	55,7	1788,2	–

Таблица 2

**Расчет показателей работы сортиментовоза по схеме 1 (продолжение), критерий назначения рейсов – начиная от ближайшего к складу потребителя**

Номер рейса	Затраты на рейс, усл. ед.				Коэффициент использования пробега $\beta$	Грузовая работа, м <sup>3</sup> ·км	
	с грузом $c_{гр}$	без груза $c_{бгр}$	рейс $c_p$	всего $c$		за рейс $r_p$	всего $r$
1	372,0	20,10	392,10	392,10	0,382	620,0	620,0
2	372,0	12,40	384,40	776,50	0,500	620,0	1240,0
3	372,0	12,40	384,40	1160,90	0,500	620,0	1860,0
4	372,0	12,40	384,40	1545,30	0,500	620,0	2480,0
5	372,0	12,40	384,40	1929,70	0,500	620,0	3100,0
6	372,0	12,40	384,40	2314,10	0,500	620,0	3720,0
7	499,5	16,65	516,15	2830,25	0,500	832,5	4552,5
8	499,5	16,65	516,15	3346,40	0,500	832,5	5385,0
9	499,5	16,65	516,15	3862,55	0,500	832,5	6217,5
10	499,5	16,65	516,15	4378,70	0,500	832,5	7050,0
11	499,5	16,65	516,15	4894,85	0,500	832,5	7882,5
12	499,5	16,65	516,15	5411,00	0,500	832,5	8715,0
13	499,5	16,65	516,15	5927,15	0,500	832,5	9547,5
14	559,5	18,65	578,15	6505,30	0,500	932,5	10 480,0
15	559,5	18,65	578,15	7083,45	0,500	932,5	11 412,5
16	559,5	18,65	578,15	7661,60	0,500	932,5	12 345,0
17	559,5	18,65	578,15	8239,75	0,500	932,5	13 277,5
18	631,5	21,05	652,55	8892,30	0,500	1052,5	14 330,0
19	631,5	21,05	652,55	9544,85	0,500	1052,5	15 382,5
20	631,5	21,05	652,55	10 197,40	0,500	1052,5	16 435,0
21	670,5	22,35	692,85	10 890,25	0,500	1117,5	17 552,5
22	670,5	22,35	692,85	11 583,10	0,500	1117,5	18 670,0
23	670,5	22,35	692,85	12 275,95	0,500	1117,5	19 787,5
24	670,5	22,35	692,85	12 968,80	0,500	1117,5	20 905,0
25	670,5	0	670,50	13 639,30	–	1117,5	22 022,5
26	–	27,85	27,85	13 667,15	–	–	–

Для каждой моделируемой ситуации были построены схемы грузопотоков, пример одной из них представлен на рис. 6.

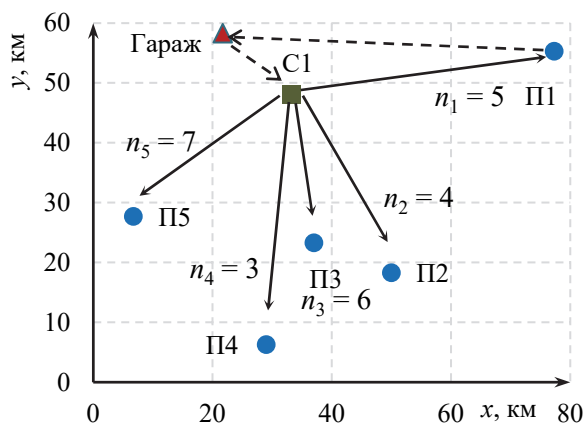


Рис. 6. Схема грузопотоков при работе с одним складом:

← - - - нулевой пробег; ← - пробег с грузом  
 $n_i$  – количество рейсов;  $i$  – номер  $i$ -го потребителя

В завершении данного этапа моделирования было получено 20 таблиц данных, аналогичных табл. 1 и табл. 2, а также 20 схем грузопотоков.

На следующем этапе моделирования осуществлялась выборка данных из полученных на предыдущем этапе таблиц.

Интерес представляли следующие показатели:

– суммарные значения: нулевого пробега  $l_0$ ; пробега с грузом  $l_{гр}$ ; пробега без груза  $l_{бгр}$ ; пройденного пути всего  $l$ ; перевозимого объема  $q$ ; затрат на рейс с грузом  $c_{гр}$ ; затрат на рейс без груза  $c_{бгр}$ ; грузовой работы за рейс  $r_p$ ;

– средние значения: пробега с грузом  $l_{гр}$ ; пробега без груза  $l_{бгр}$ ; пробега за рейс  $l_p$ ; перевезенного объема  $q$ ; затрат на рейс с грузом  $c_{гр}$ ; затрат на рейс без груза  $c_{бгр}$ ; затрат на рейс  $c_p$ ; коэффициента использования пробега  $\beta$ ; грузовой работы за рейс  $r_p$ ; всего грузовой работы  $r$ ; общего коэффициента использования пробега по схеме  $\beta_{общ}$ .

Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Суммарные и средние значения показателей

Критерий	1		2		3		4	
	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние
Схема 1								
$l_0$	71,1	–	30,8	–	30,8	–	30,8	–
$l_{гр}$	880,9	35,2	880,9	35,2	880,9	35,2	880,9	35,2
$l_{бгр}$	836,2	34,8	880,9	35,2	880,9	35,2	880,9	35,2
$l_p$	–	68,8	–	68,9	–	68,9	–	68,9
$l$	1788,2	–	1792,6	–	1792,6	–	1792,6	–
$q$	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0
$c_{гр}$	13 213,5	528,5	13 213,5	528,5	13 213,5	528,5	13 213,5	528,5
$c_{бгр}$	425,8	17,4	448,15	17,5	448,15	17,5	448,15	17,5
$c_p$	–	525,7	–	525,7	–	525,7	–	525,7
$c$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\beta$	–	0,5	–	0,5	–	0,5	–	0,5
$r_p$	22 022,5	880,9	22 022,5	880,9	22 022,5	880,9	22 022,5	880,9
$r$	–	10 198,8	0	12 704,6	0	11 978,6	–	11 806,7
$\beta_{общ}$	–	0,474	–	0,483	–	0,483	–	0,483
Схема 2								
$l_0$	71,1	–	64,4	–	54,7	–	54,7	–
$l_{гр}$	753,6	30,1	773,9	31,0	906,6	36,3	896,3	35,9
$l_{бгр}$	716,5	28,7	780,5	31,2	853,1	34,1	819,1	32,8
$l_p$	–	59,3	–	62,3	–	69,8	–	68,1
$l$	1541,2	–	1618,8	–	1814,4	–	1770,1	–
$q$	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0
$c_{гр}$	11 304,0	452,2	11 608,5	464,3	13 599,0	544	13 444,5	537,8
$c_{бгр}$	365,95	15,1	397,95	16,2	434,25	17,5	417,25	16,8
$c_p$	–	449,9	–	462,7	–	540,5	–	533,9
$c$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\beta$	–	0,5	–	0,5	–	0,5	–	0,5
$r_p$	18 840,0	753,6	19 347,5	773,9	22 665,0	906,6	22 407,5	896,3

Окончание табл. 3

Критерий	1		2		3		4	
	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние	Суммарные	Средние
$r$	–	8608,4	–	12 273,2	–	11 648,5	–	11 618,8
$\beta_{\text{общ}}$	–	0,467	–	0,460	–	0,485	–	0,491
Схема 3								
$l_0$	54,7	–	64,4	–	54,7	–	54,7	–
$l_{\text{гр}}$	721,6	28,9	905	36,2	907,6	36,3	870,5	34,8
$l_{\text{бгр}}$	680,7	27,2	856,7	34,3	848,2	33,9	815	32,6
$l_p$	–	56	–	70,2	0	69,6	–	66,9
$l$	1457	–	1826,1	–	1810,5	–	1740,2	–
$q$	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0
$c_{\text{гр}}$	10 824,0	433	13 575,0	543	13 614,0	544,6	13 057,5	522,3
$c_{\text{бгр}}$	348,05	14,1	436,05	17,7	431,8	17,4	415,2	16,7
$c_p$	–	430,5	–	539,8	–	541	–	518,9
$c$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\beta$	–	0,5	–	0,5	–	0,5	–	0,5
$r_p$	18 040,0	721,6	22 625,0	905	22 690,0	907,6	21 762,5	870,5
$r$	–	8567,9	–	13 442,8	–	11 538,9	–	11 436,0
$\beta_{\text{общ}}$	–	0,477	–	0,479	–	0,487	–	0,485
Схема 4								
$l_0$	54,7	–	53,4	–	54,7	–	54,7	–
$l_{\text{гр}}$	580,8	23,2	902,0	36,1	756,0	30,2	748,1	29,9
$l_{\text{бгр}}$	579,2	23,2	861,6	34,5	674,5	27	672,2	26,9
$l_p$	–	46,7	–	69,9	–	57,1	–	56,7
$l$	1214,7	–	1817,0	–	1485,2	–	1475,0	–
$q$	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0
$c_{\text{гр}}$	8712,0	348,5	13 530,0	541,2	11 340,0	453,6	11 221,5	448,9
$c_{\text{бгр}}$	297,3	12,2	438,5	17,6	344,95	14,0	343,8	14,0
$c_p$	–	347,3	–	538,0	–	450,2	–	445,6
$c$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\beta$	–	0,5	–	0,5	–	0,5	–	0,5
$r_p$	14 520,0	580,8	22 550,0	902,0	18 900,0	756,0	18 702,5	748,1
$r$	–	7341,4	–	13 479,6	–	10 668,7	–	10 777,6
$\beta_{\text{общ}}$	–	0,458	–	0,482	–	0,491	–	0,489
Схема 5								
$l_0$	67,7	–	53,4	–	54,7	–	54,7	–
$l_{\text{гр}}$	530,8	21,2	871,0	34,8	589,7	23,6	737,5	29,5
$l_{\text{бгр}}$	523,6	20,9	852,0	34,1	569,5	22,8	718,2	28,7
$l_p$	–	43,2	–	68,3	–	46,7	–	58,1
$l$	1122,1	–	1776,4	–	1213,9	–	1510,4	–
$q$	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0	625,0	25,0
$c_{\text{гр}}$	7962,0	318,5	13 065,0	522,6	8845,5	353,8	11 062,5	442,5
$c_{\text{бгр}}$	269,5	11,4	433,7	17,4	292,45	12,0	366,8	14,9
$c_p$	–	317,6	–	519,9	–	352,2	–	440,3
$c$	–	–	–	–	–	–	–	–
$\beta$	–	0,5	–	0,5	–	0,5	–	0,5
$r_p$	13 270,0	530,8	21 775,0	871,0	14 742,5	589,7	18 437,5	737,5
$r$	–	6847,9	–	13 496,3	–	8675,2	–	10 481,7
$\beta_{\text{общ}}$	–	0,446	–	0,476	–	0,465	–	0,471

На третьем этапе моделирования были определены показатели: пройденный путь без груза, затраты на перевозку, грузовая работа –

минимальные значения; коэффициент использования пробега – максимальные значения. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

## Анализ основных показателей моделирования

Номер критерия	Пройденный путь без груза, км	Затраты на перевозку, усл. ед.	Коэффициент использования пробега (общий)	Грузовая работа, м <sup>3</sup> ·км
Схема 1				
1	<b>34,8</b>	<b>13 667,15</b>	0,474	<b>10 198,8</b>
2	35,2	13 669,35	<b>0,483</b>	12 704,6
3	35,2	13 669,35	<b>0,483</b>	11 978,6
4	35,2	13 669,35	<b>0,483</b>	11 806,7
Схема 2				
1	<b>30,1</b>	<b>11 697,80</b>	0,467	<b>721,6</b>
2	31,0	12 030,95	0,460	773,9
3	36,3	14 052,90	0,485	906,6
4	35,9	13 881,40	<b>0,491</b>	896,3
Схема 3				
1	<b>28,9</b>	<b>11 191,70</b>	0,477	<b>721,6</b>
2	36,2	14 035,55	0,479	905,0
3	36,3	14 065,45	<b>0,487</b>	907,6
4	34,8	13 492,35	0,485	870,5
Схема 4				
1	<b>23,2</b>	<b>9028,95</b>	0,458	<b>580,8</b>
2	36,1	13 987,50	0,482	902,0
3	30,2	11 704,60	<b>0,491</b>	756,0
4	29,9	11 584,95	0,489	748,1
Схема 5				
1	<b>21,2</b>	<b>8257,65</b>	0,446	<b>530,8</b>
2	34,8	13 517,70	<b>0,476</b>	871,0
3	23,6	9157,60	0,465	589,7
4	29,5	11 448,95	0,471	737,5

Из значений показателей в табл. 4 можно сделать следующие основные выводы.

Если в качестве оценки оптимальности выступает минимальное значение пройденного пути без груза, то для всех рассмотренных случаев оптимальным является назначение рейсов, начиная от ближайшего к складу потребителя. Аналогично, если для оценки оптимальности выступает минимум общих затрат на перевозку заданного объема сортиментов, тогда оптимальным является назначение рейсов начиная от ближайшего к складу.

По значениям минимальной величины грузовой работы оптимальным является назначение рейсов начиная от ближайшего к складу потребителя.

По показателю максимального значения коэффициента использования пробега ситуация неоднозначная и для каждой схемы выбор способа назначения рейсов меняется. Это, видимо, во многом определяется соотношением расстояний между корреспондирующими пунктами и требует отдельного дальнейшего изучения и проработки.

**Заключение.** Проводя анализ полученных результатов моделирования, а также литературных источников, на наш взгляд, следует отметить следующие.

Полученные в ходе моделирования процесса перевозки древесины показатели для различных вариантов организации работы на маршрутах, показывают динамику изменения изучаемых показателей.

Установлено, что формирование маршрутов работы сортиментовозов по различным критериям назначения рейсов в рамках моделируемой системы может приводить к увеличению транспортных затрат. Для моделируемой схемы 1 увеличение составляет до 1%; для схемы 2 – до 20%; для схемы 3 – до 26%; для схемы 4 – до 55%; для схемы 5 – до 64%.

Полученные результаты свидетельствуют также о том, что при увеличении пунктов погрузки от 1 до 5, появляется большая вариативность способов формирования маршрутов работы сортиментовозов, что, в свою очередь, усложняет задачу эффективного оперативного управления перевозками лесозаготовительного производства.

### Список литературы

1. Короленя Р. О. Определение функции срочности перевозки древесины по основным схемам организации транспортного процесса // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 83–85.
2. Ковалев Р. Н., Демидов Д. В., Боярский С. Н. Логистическое управление транспортными системами: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008. 166 с.
3. Короленя Р. О., Гриневич К. А. Транспортировка древесины сортиментовозами: граф состояний // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 86-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. Минск, 2022. С. 141–144.
4. Короленя Р. О. Совершенствование подходов к выбору маршрутов перевозки // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 149–151.
5. Короленя Р. О. Моделирование работы сортиментовозов при транспортировке древесины: граф состояний // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 129–135. DOI: 10.52065/2519-402X-2022-252-1-129-135.
6. Короленя Р. О., Барташевич Е. И. Изучение основных показателей работы сортиментовозов на различных маршрутах перевозки древесины // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. (Междунар. молодежный форум по лесопром. образованию «Лес-Наука-Инновации-2022»), Минск, 6–9 дек. 2022 г. Минск, 2022. С. 51–55.
7. Родионов Ю. В., Подшивалова К. С., Подшивалов С. Ф. Маршрутизация маятниковых и кольцевых маршрутов между несколькими базами снабжения // Вестн. Таджик. техн. ун-та. 2012. № 1 (17). С. 79.
8. Васюткин А. В. Задача маршрутизации транспортных средств // Инновационная наука. 2017. № 5. С. 9–11.
9. Камбаров Ч. У. Алгоритм расчета работы перевозок грузов автомобилями на маятниковом маршруте // Инженер. 2015. № 10. С. 135–138.
10. Кабикенов С. Ж., Шалаев В. В., Сунгатоллакызы А. Планирование перевозок однородных грузов с компьютерной оптимизацией маятниковых и кольцевых маршрутов // Труды университета. 2021. № 2 (83). С. 124–131. DOI: 10.52209/1609-1825\_2021\_2\_124.
11. Конотопский В. Ю. Элементы методики построения кольцевых маршрутов в сфере производственной логистики // Вестн. Томского гос. ун-та. Экономика. 2012. № 4 (20). С. 98–104.
12. Козулин Н. А. Поиск оптимального маршрута транспортировки древесины // Технологии 2022: основные проблемы и направления развития: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 30 июня 2022 г. Пенза, 2022. С. 150–152.
13. Vlasov A. V., Stanovskih A. A. Additional constraints in the vehicle routing problem // Universum: технические науки. 2022. № 4-12 (97). P. 49–55. DOI: 10.32743/UniTech.2022.97.4.13513.
14. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Грузовые автомобильные перевозки. Минск: Выш. шк., 1989. 272 с.
15. Ванчукевич В. Ф., Седюкевич В. Н., Холупов В. С. Автомобильные перевозки. Минск: ДизайнПро, 1999. 224 с.
16. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. Киев: Вища школа. 1986. 447 с.

### References

1. Korolenia R. O. Determining the urgency function of timber transport by the main transport process organisation schemes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 83–85 (In Russian).
2. Kovalev R. N., Demidov D. V., Boyarskiy S. N. *Logisticheskoye upravleniye transportnymi sistemami* [Logistics management of transport systems]. Ekaterinburg, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet Publ., 2008. 166 p. (In Russian).
3. Korolenya R. O., Grinevich K. A. Timber transportation by log trucks: graph of states. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest Engineering, Materials Science and Design: Proceedings of the 86th Scientific and Technical Conference of Faculty, Researchers and PhD Students (with international participation)]. Minsk, 2022, pp. 141–144 (In Russian).
4. Korolenya R. O. Improvement of approaches to the selection of timber transportation routes. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy*



*konferentsii* [Logging Production: Problems and Solutions: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, 2017, pp. 149–151 (In Russian).

5. Korolenya R. O. Modelling the operation of log trucks during timber transport: the status graph. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Recycling of Renewable Resources, 2022, no. 1 (252), pp. 129–135. DOI: 10.52065/2519-402X-2022-252-1-129-135 (In Russian).

6. Korolenya R. O., Bartashevich E. I. Studying the main performance indicators of timber trucks on different timber transportation routes. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Mezhdunarodnyy molodezhnyy forum po lesopromyshlennomu obrazovaniyu "Les-Nauka-Innovatsii-2022")*. [State and prospects for the development of the forestry complex in the CIS countries: Proceedings of the II International Scientific and Technical Conference (the International Youth Forum on Forestry Education "Forest-Science-Innovation-2022")]. Minsk, 2022, pp. 51–55 (In Russian).

7. Rodionov Yu. V., Podshivalova K. S., Podshivalov S. F. Routing of pendulum and ring routes between several supply bases. *Vestnik Tadzhiikskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tajik Technical University], 2012, no. 1 (17), p. 79 (In Russian).

8. Vasyutkin A. V. The task of routing vehicles. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative science], 2017, no. 5, pp. 9–11 (In Russian).

9. Kambarov Ch. U. Algorithm for calculating the work of transporting goods by car on a pendulum route. *Inzhener* [Engineer], 2015, no. 10, pp. 135–138 (In Russian).

10. Kabikenov S. Zh., Shalayev V. V., Sungatollakzy A. Homogeneous goods transport planning with computer-optimised pendulum and roundabout routing. *Trudy universiteta* [Proceedings of the University], 2021, no. 2 (83), pp. 124–131. DOI: 10.52209/1609-1825\_2021\_2\_124 (In Russian).

11. Konotopskiy V. Yu. Elements of a production logistics ring route methodology. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Bulletin of Tomsk State University. Economy], 2012, no. 4 (20), pp. 98–104 (In Russian).

12. Kozulin N. A. Finding The best timber transportation route. *Tekhnologii 2022: osnovnyye problemy i napravleniya razvitiya: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Technologies 2022: main problems and directions of development: Collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference]. Penza, 2022, pp. 150–152 (In Russian).

13. Vlasov A. V., Stanovskih A. A. Additional constraints in the vehicle routing problem. *Universum: tekhnicheskiye nauki* [Universum: technical sciences], 2022, no. 4-12 (97), pp. 49–55. DOI: 10.32743/UniTech.2022.97.4.13513.

14. Vanchukevich V. F., Sedyukevich V. N., Holupov V. S. *Gruzovyye avtomobil'nyye perezozki* [Freight road transportation]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1989. 272 p. (In Russian).

15. Vanchukevich V. F., Sedyukevich V. N., Holupov V. S. *Avtomobil'nyye perezozki* [Road transportation]. Minsk, DizaynPro Publ., 1999. 224 p. (In Russian).

16. Vorkut A. I. *Gruzovyye avtomobil'nyye perezozki* [Freight road transportation]. Kyiv, Vishcha shkola Publ., 1986. 447 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Короленя Руслан Олегович** – доцент кафедры информатики и веб-дизайна. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: korolenia@belstu.by

**Барташевич Елизавета Игоревна** – студентка. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: elizavetta358bart@gmail.com

### Information about the authors

**Korolenia Ruslan Olegovich** – Assistant Professor, the Department of Informatics and Web-Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: korolenia@belstu.by

**Bartashevich Elizaveta Igorevna** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elizavetta358bart@gmail.com

Поступила 20.03.2023