

**СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ТРЕЛЕВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ –  
РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕАЛЬНЫЙ ПРОБЕГ**

**Сармулис З.<sup>1</sup>, проф., д.т.н., Савельев А.<sup>1</sup>, доц., д.т.н.,  
Давиданс М.<sup>1</sup>, преп., маг. техн. наук, Симанович В. А.<sup>2</sup>, доц., к.т.н.,  
Кононович Д. А.<sup>2</sup>, асп.**

<sup>1</sup>Латвийский сельскохозяйственный университет  
(Елгава, Латвийская Республика), silvasav@inbox.lv

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет  
(Минск, Республика Беларусь), sergeyariko@mail.ru., denkon\_92@mail.ru

**MEDIUM DISTANCE OF TIMBER PRIMARY TRANSPORT -  
DESIGN INDICATORS AND REAL MARGIN**

**Sarmulis Z.<sup>1</sup>, Prof., DSc., Savelyev A.<sup>1</sup>, Assist. Prof., DSc.,  
Davidans M.<sup>1</sup>, Lecturer, Master of Engineering, Simanovich V. A.<sup>2</sup>, Assist. Prof., PhD,  
Kononovich D. A.<sup>2</sup>, PhD student**

<sup>1</sup>Latvia University of Agriculture  
(Jelgava, Republic of Latvia)

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University  
(Minsk, Republic of Belarus)

The article presents methods for determining the average logging distance of timber primary transport for cutting in Latvia, Canada and the Republic of Belarus. Their comparative estimation is carried out. The analysis of the results of calculating the average distances of skidding according to methods for six cutting areas and comparing the obtained data with the actual value was carried out. The results of the studies confirmed the need for their improvement or the development of a new one that would take into account not only the geometric, but also the natural and production conditions for the exploitation of logging equipment.

**Введение.** Любой современный технологический процесс в лесной отрасли немислим без планирования энергетического потребления и тесно связан как с расходом топлива, так и с ожидаемыми выбросами углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в атмосферу. При этом технологическая схема разработки лесосеки выбирается исходя из имеющегося парка лесных машин, а процесс первичной транспортировки планируется на основе двух критериев:

- среднее расстояние подвозки (трелевки) заготовленных материалов;
- средняя грузовая рейсовая нагрузка.

В связи с этим цель настоящего исследования является определение разброса в показаниях расчётного среднего расстояния трелёвки заготавливаемых материалов согласно различным методикам и сравнение полученных данных с реальным пробегом лесотранспортной машины.

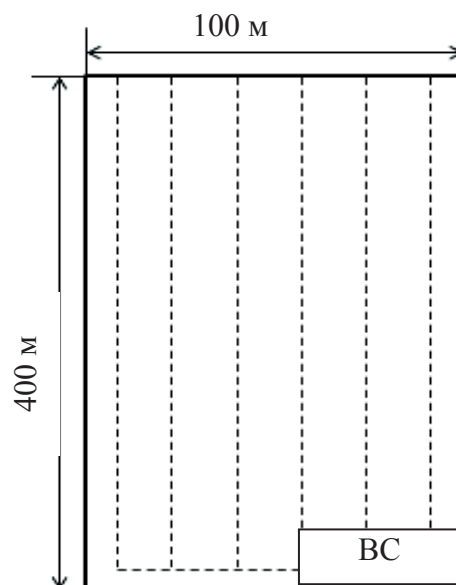
**Основная часть.** Для сравнения различных методик расчета среднего расстояния трелевки заготавливаемых лесоматериалов принимались следующие допущения:

- лесосека имеет прямоугольную форму со сторонами 100 м × 400 м (рисунок);
- подвозка лесоматериалов выполняется по волокам, размещённым параллельно длинной стороне лесосеки;
- ликвидный запас древесины составляет 250 м<sup>3</sup>/га, при этом объём заготавливаемой древесины составит 1000 м<sup>3</sup>;
- средняя рейсовая нагрузка – 10 м<sup>3</sup>;
- весь заготавливаемый лесоматериал располагается по территории лесосеки равномерно и на каждый волок приходится одинаковый объём транспортируемого лесоматериала (по 200 м<sup>3</sup>).

В соответствии с принятыми допущениями необходимо выполнить 100 транспортных рейсов (холостой ход + грузовой ход), чтобы осуществить транспортировку заготавливаемого объема лесоматериалов на верхний склад.

При расчете среднего расстояния трелевки в виду наличия микрорельефа (пни, ямы и т.д.) в Латвии с середины XX века применяется коэффициент увеличения среднего расчетного расстояния трелевки в размере 1,12–1,15, однако для типичных условий используется величина 1,135. В таком случае на сбор подвозимого лесоматериала объемом 10 м<sup>3</sup> необходимо передвижение по волоку на расстояние 20 м при этом среднее расстояние между центрами таких отрезков составит также 20 м, а на каждый волок будет приходиться 20 подвозимых грузовых и холостых ходов. Подсчитав суммарный пробег для каждого рейса установлено, что транспортное средство по территории лесосеки проедет общее расстояние 56,8 км. Разделив это расстояние на количество проходов получили, что среднее расстояние трелевки составляет 284 м.

В последнее время в Латвии для определения среднего расстояния трелевки лесоматериала широко применяют метод определения числового значения через численную величину длиной диагонали контура лесосеки разделенную пополам. При этом среднее расстояние трелевки составляет



ВС – верхний склад  
Рисунок – Схема теоретической лесосеки

$$S = \frac{\sqrt{(100^2 + 400^2)}}{2} = 206 \text{ м.}$$

Тогда, теоретический общий пробег транспортного средства (форвардера, трелевочного трактора) будет равным 41,2 км.

В Канаде среднее расстояние трелевки заготавливаемых лесоматериалов определяется как половина от максимального расстояния трелевки по границе лесосеки. Таким образом, для нашего расчетного случая среднее расстояние составит  $(100+400)/2=250$  м, а общий пробег по лесосеке – 50 км.

Для расчета данного показателя в Республике Беларусь применяют формулу

$$S = (k_1 a + k_2 b) \cdot k_0,$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, зависящие от схемы размещения трелевочных волоков, которые для рассматриваемого расчета будут равны 0,5;

$k_0$  – коэффициент изменения расстояния трелевки ( $k_0 = 1,1-1,4$ );

$a, b$  – размеры лесосеки (м);

Тогда

$$S = (0,5 \cdot 100 + 0,5 \cdot 400) \cdot 1,15 = 287,5 \text{ м,}$$

При этом общий пробег по лесосеке составит 57,5 км.

В результате исследования установлено, что все четыре метода расчета среднего расстояния трелевки лесоматериалов имеют разные значения (таблица 1).

В это связи были экспериментально проведены замеры пробега форвардера в условиях реальных лесосек с целью последующей корректировки методики расчёта среднего расстояния трелевки заготавливаемых лесоматериалов.

**Таблица 1 – Результаты сравнения расчётных методик**

Методика	Страна	Расчётное среднее расстояние трелевки лесоматериалов, м	Общий расчётный пробег по лесосеке	Погрешность, %
1.	Латвия	284	56,8 км	100%
2.	Латвия	206	41,2 км	-27%
3.	Канада	250	50,0 км	-12%
4.	Беларусь	287,5	57,5 км	+1%

Так в зимне-весенний период 2017 года на шести лесосеках акционерного общества «Латвийский государственные леса» в регионе Земгале (Латвия) выполнен замер пробега и определено количество рейсов по подвозу заготовленного круглого лесоматериала на верхний склад. Полученные результаты обобщены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты исследования работы форвардеров на рубках главного пользования**

№ лесосеки	Размер лесосеки, м	Площадь, га	Запас древесины на лесосеке, м <sup>3</sup>	Фактическое среднее расстояние трелевки, м	Средняя рейсовая нагрузка, м <sup>3</sup>	Количество рейсов, шт.	Фактический пробег, м
1	60x217	1,3	376	635	11,0	35	44434
2	60x317	1,9	414	900	9,0	46	82800
3	40x250	1,0	270	734	8,4	32	47000
4	60x183	1,1	254	138	6,8	37	10176
5	40x225	0,9	233	350	6,1	38	26650
6	100x350	3,5	1314	247	7,0	192	114000

Для сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований формы реальных лесосек приводились к прямоугольным с размерами приведенными в таблице 2. Следует отметить, что на 5 из 6 лесосеках погрузочный пункт располагался за ее пределами. В связи с этим, для сопоставления фактического значения среднего расстояния трелевки с теоретическим, от установленного экспериментальным путем значения отнималось расстояние, которое форвардер проходил при движении от края лесосеки до верхнего склада (таблица 3).

**Таблица 3 – Результаты сравнения расчетного среднего расстояния трелевки с фактическим**

№ лесосеки	Расстояние от лесосеки до верхнего склада, м	Фактическое среднее расстояние трелевки по лесосеке, м	Расчетное среднее расстояние трелевки по лесосеке, м			
			1	2	3	4
1	537	98	150	113	139	159
2	596	304	225	161	189	217
3	373	361	138	127	145	167
4	–	138	100	96	122	140
5	136	214	88	114	133	152
6	20	227	234	182	225	259

Для каждой из шести лесосек, на основе анализа приведенных значений, получены относительные погрешности средних расстояний трелевки установленных по каждой из приведенных выше методик. При этом ни одна из них не дает достаточно точного результата. Так применяемая в настоящий момент в Латвии методика обеспечивает минимальный диапазон разброса значений (от -64,8% до 15,3%) по отношению к фактическому при максимальной средне арифметической погрешности (-32,2%). При этом методика, которая применяется в Республике Беларусь, обеспечивает получение требуемой величины со средней арифметической отклонению в 5%, не смотря на достаточно большой разброс установленных расстояний трелевки. Это в первую очередь связано с более симметричным распределением увеличения и уменьшения расстояний трелевки по отношению к фактическому. Аналогичный результат наблюдается при определении общего пробега форвардера по шести экспериментальных лесосеках (таблица 5).

Также следует отметить, что применяемые в настоящий момент в Латвии и Канаде методики не включают поправочных коэффициентов. В свою очередь применяемые в настоящее время в Республике Беларусь и ранее в Латвии позволяют в зависимости от условий эксплуатации скорректировать установленные значения средних расстояний трелевки по сравнению с приведенными выше значениями на -4,3%—+21,7% и ±1,3% соответственно. Этим можно снизить погрешность расчетов, приведенных в таблице 4, по латвийской методике на 1,3%.

**Таблица 4 – Относительная погрешность расчетных значений средних расстояний трелевки по сравнению с фактическим**

№ лесосеки	Не учитывая расстояние от лесосеки до верхнего склада, %				С учетом расстояния от лесосеки до верхнего склада, %			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	+53,1	+15,3	+41,8	+62,2	+8,2	+2,4	+6,5	+9,6
2	-26,0	-47,0	-37,8	-28,6	-8,8	-15,9	-12,8	-9,7
3	-61,8	-64,8	-59,8	-53,7	-30,4	-31,9	-29,4	-26,4
4	-27,5	-30,4	-11,6	+1,4	-27,5	-30,4	-11,6	+1,4
5	-58,9	-46,7	-37,9	-29,0	-36,0	-28,6	-23,1	-17,7
6	3,1	-19,8	-0,9	+14,1	2,8	-18,2	-0,8	+13,0
Средняя арифметическая погрешность, %	-19,7	-32,2	-17,7	-5,6	-15,3	-20,4	-11,9	-5,0

**Таблица 5 – Результаты определения пробега форвардера по лесосеке**

№ лесосеки	Пробег, м					Относительная погрешность, %			
	Факт	1	2	3	4	1	2	3	4
1	44434	48090	45500	47320	48720	+8,2	+2,4	+6,5	+9,6
2	82800	75532	69644	72220	74796	-8,8	-15,9	-12,8	-9,7
3	47000	32704	32000	33152	34560	-30,4	-31,9	-29,5	-26,5
4	10176	7400	7104	9028	10360	-27,3	-30,2	-11,3	+1,8
5	26650	17024	19000	20444	21888	-36,1	-28,7	-23,3	-17,9
6	114000	97536	77568	94080	107136	-14,4	-32,0	-17,5	-6,0
Средняя арифметическая погрешность, %	—	—	—	—	—	-18,1	-22,7	-14,6	-8,1
Суммарный пробег, км	325,1	278,3	250,8	276,2	297,5	—	—	—	—

В свою очередь, за счет правильного выбора коэффициента изменения расстояния трелевки, по белорусской методике можно обеспечить снижения диапазона изменения по-

грешности от  $-7,3\%$  до  $57,9\%$ , а средней арифметической погрешности до  $3,6\%$ . Однако отсутствуют однозначные критерии, определяющие выбор того или иного значения, что может наоборот привести к увеличению погрешности расчетов. При этом увеличение расстояния между лесосекой и верхним складом обеспечивает снижение погрешности, так как уменьшается расчетная транспортная составляющая по отношению к общему расстоянию трелевки, что отчетливо видно на примере 1, 2 и 4 (где погрешность не изменяется) лесосек.

**Выводы.** Результаты приведенных исследований свидетельствуют, что на большинстве лесосек фактическое среднее расстояние трелевки лесоматериала до верхнего склада было больше, чем рассчитанное по приведенным методикам. Установлено, что в зависимости от выбранной методики расчета в среднем форвардер по лесосеке проезжает расстояние на  $5,6-32,2\%$  больше расчетного без учета расстояния от верхнего склада до лесосеки и на  $5,0-20,4\%$  с учетом данного параметра. При этом есть хотя бы одна лесосека для каждой методики, где ее применение обеспечивает получение расчетного значения расстояния трелевки в пределах  $5\%$  погрешности. Следует отметить, что повышение точности действующих в Латвии и Канаде методик может быть обеспечено лишь при условии отведения строго прямоугольных лесосек с прямолинейными волоками и достаточно высокой несущей способностью грунтов.

Использование двух других методик позволяет корректировать среднее расстояние трелевки в зависимости от условий эксплуатации, формы трелевочного волока и, частично, лесосеки. Однако отсутствуют критерии однозначно регламентирующие выбор поправочного коэффициента.

При освоении рассмотренных шести лесосек, приняв среднюю скорость передвижения форвардера по лесосеке равную  $4$  км/ч, выполнение заданного объема лесозаготовительных потребует до трех дополнительных рабочих дней и сопутствующих затрат дизельного топлива по отношению к расчетному значению.

Представленные результаты сравнение теоретических и экспериментальных данных показали, что расчетное расстояние трелевки требует коррекции. В связи с чем существует необходимость совершенствования существующих методик расчета либо разработка новой, более универсальной методики, учитывающей не только геометрические параметры лесосеки, но и основные производственные условия эксплуатации лесозаготовительных машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. "Labas prakses mežizstrādes operatoru un kokvedēju vadītāju rokasgrāmata. AS"Latvijas valsts meži"2012.
2. Valeria, O., Cea, I., Bergeron Y. A review of skidding distances method under variable retention harvesting considerations [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа : <https://www.cirrelt.ca/cofe2011/proceedings/35-valeria.pdf>.
3. Sarmulis Z. Meža darbi un tehnika: Metodiskie norādījumi kursa darba izstrādei mežinženieru bakalaura profesionālās studiju programmas studentiem. Jelgava, LLU Meža izmantošanas katedra, 2010., 26 l pp.
4. Матвейко, А.П. Технология и машины лесосечных работ : учеб. для вузов / А.П. Матвейко, А.С. Федоренчик. – Минск : Технопринт, 2002. – 480 с.
5. Арико, С.Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.01 / С.Е. Арико. – Минск, 2012. – 225 с.
6. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия / В.С. Сюнев [и др.]. – Йоэнсуу : НИИ леса Финляндии MELTA, 2008. – 126 с.
7. The method of calculating average skidding distance [Электронный ресурс]. – 1997. – Режим доступа : <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02864941>.
8. Yuta Inomata, Masahiro Iwaoka, Takeshi Matsumoto, Onwona-Agyeman Siaw / Journal of The Japan Forest Engineering Society / [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfes/28/2/28\\_KJ00008723227/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfes/28/2/28_KJ00008723227/_article).