

## Обоснование технологических решений сплошных рубок леса на основе имитационного моделирования и ГИС-технологий<sup>1</sup>

С. Н. Перский<sup>2</sup>

*Петрозаводский государственный университет*

### АННОТАЦИЯ

Предлагается методика оценки эффективности функционирования систем машин на сплошных рубках главного пользования с учётом природно-производственных условий, параметров машин и оборудования, показателей надежности.

**Ключевые слова:** сплошные рубки, имитационное моделирование, ГИС-технологии.

### SUMMARY

The method of estimation for efficiency of forest machines systems for clear cutting is described. The method takes into consideration natural and industrial conditions, parameters of machines and the equipment, parameters of reliability is offering.

**Keywords:** clear cutting, multiobjective simulation, GIS-technologies.

При исследовании технологии и машин лесозаготовок все более широкое распространение получает метод имитационного моделирования [1-4], позволяющий учитывать большое число факторов, воздействующих на работу лесосечных машин, носящих случайный характер. При имитации технологического процесса лесозаготовок эксперименты проводятся с моделью технологического процесса, а не с самим реальным процессом. В этой связи появляется возможность проводить их по математически обоснованному плану с использованием соответствующих методов. В рассматриваемой задаче предметом труда является лес, запасы которого распределены на значительных площадях. Применение геоинформационных систем (ГИС) наиболее актуально т. к. с их помощью можно быстро и точно собирать и анализировать большой объем пространственных данных с высокой периодичностью [7].

В Республике Карелия общий объем лесозаготовок на сплошных рубках главного пользования составляет 90%. Решение задач повышения эффективности лесозаготовок немислимо без применения современных систем лесозаготовительных машин, которые отвечали бы всем современным экономическим требованиям. Существующая в настоящее время широкая номенкла-

тура лесосечных машин (отечественных и импортных) дает свободу выбора проектных решений по компонентам системы, что усложняет научно обоснованный выбор машин для конкретных природно-производственных условий функционирования.

Ранее нами было показано [5], что обоснование выбора технического решения с позиций системного подхода и использования современных информационных технологий (ГИС-технологий) позволяет обеспечивать высокую эффективность применения, а реализованные на этих принципах имитационные модели дадут возможность принять оптимальное решение о подборе техники для конкретных природно-климатических условий. Исследование качества и эффективности сложной технической системы, каковой является система машин для рубок главного пользования, характеризуется множеством неопределенных факторов: надежности машин, расположения лесосеки и погрузочной площадки, породного состава древостоя. Поэтому для обеспечения высокой эффективности систем лесных машин необходимы соответствующие исследования по оценке эффективности различных вариантов систем с расчетом экономических показателей функционирования, на основании которых принимается решение по выбору той или иной системы машин для конкретных условий проведения рубок.

Реализация данного подхода к оценке технологического процесса проведения сплошных рубок базируется на применении ГИС-технологий. На основе картографической информации, данных о лесном фонде на исследуемой территории, показателей надежности машин, их эксплуатационных характеристик, действующих цен на лесоматериалы, различных технологий лесозаготовок и вариантов организации технологического процесса с использованием компьютерной системы оценки проводится имитационное моделирование работы системы машин с определением следующих показателей функционирования: производительности, приведенных затрат и прибыли.

Предлагаемая нами система оценки функционирования систем машин на сплошных рубках реализуется в два этапа.

На первом этапе генерируется модельная лесосека. Характеристики модельной лесосеки эквивалентны реально существующей.

Второй этап включает выбор машин и оборудования, ввод действующих цен на лесоматериалы и затем в среде проводится имитационное моделирование работы систем машин с определением оценочных показателей (рис. 1):

- производительности системы;
- полных затрат на лесозаготовку и вывозку;
- прибыли.

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством профессора Ю. Ю. Герасимова

<sup>2</sup> Автор – инженер кафедры тяговых машин © Перский С. Н., 2005

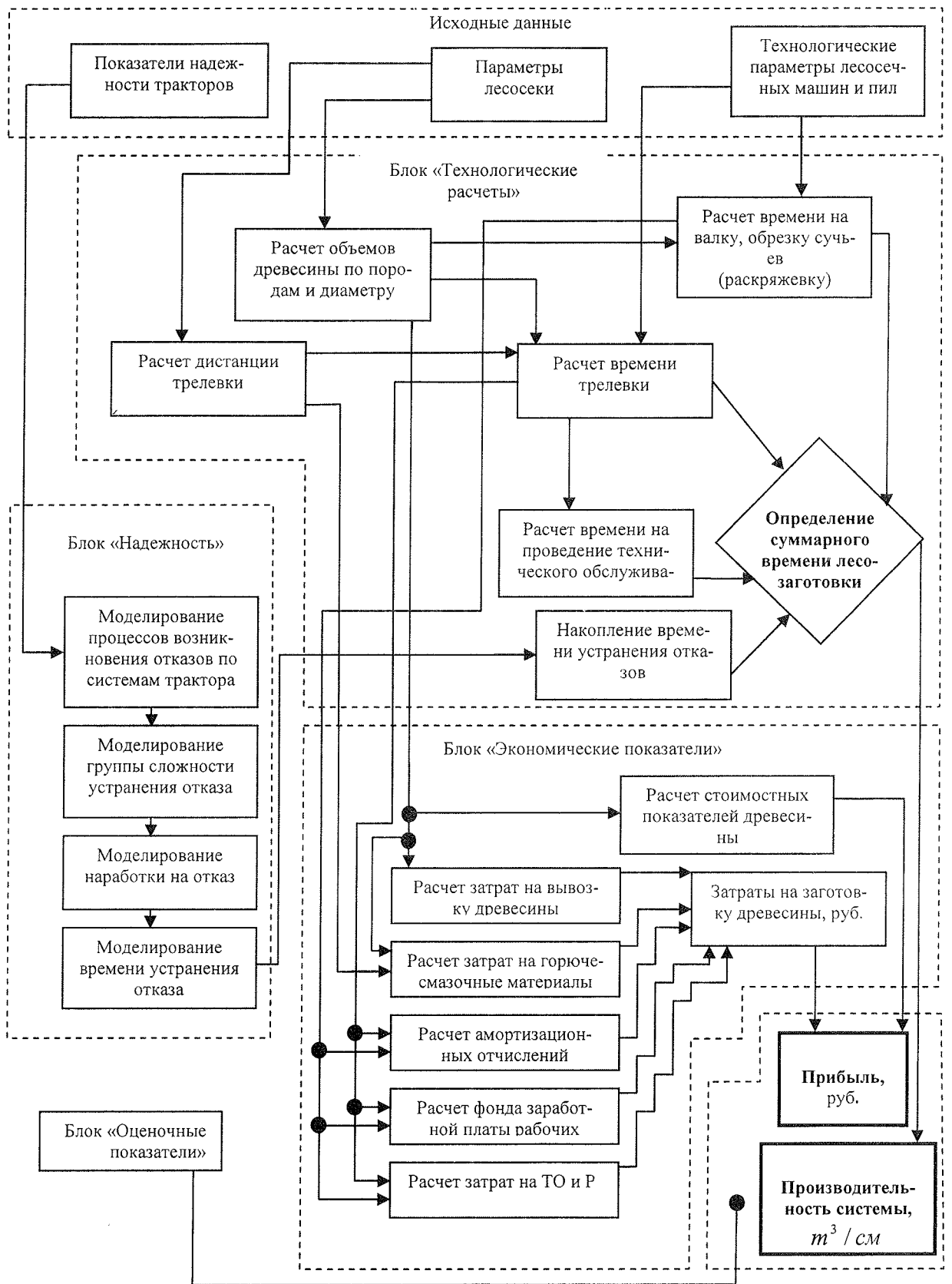


Рис. 1 Схема имитационного моделирования работы системы лесосечных машин на сплошных рубках леса

Эффективность работы системы лесных машин напрямую связана с показателями надежности техники. В теории надежности оперируют с такими случайными величинами, как ресурс, наработка до отказа, число отказов за некоторый период эксплуатации, время восстановления. Расчет времени простоя техники по причине отказов, возникающих в процессе работы, основывается на методе статистических испытаний. Этот метод сводится к имитационному моделированию реальных случайных процессов возникновения отказов. Исходным материалом для моделирования служат полученные в ходе реальных условий эксплуатации фактические данные об отказах тракторов [6], а также законы распределения времени возникновения отказов и времени восстановления. В результате анализа данных об отказах тракторов было установлено, что функции распределения отказов по их системам подчинены экспоненциальному закону распределения. Экспоненциальный закон характеризуется плотностью распределения наработки до отказа (плотностью вероятности отказов):

$$f(t) = \lambda * \exp(-\lambda t),$$

где  $\lambda = const$  – интенсивность отказов (параметр закона распределения).

Наработка до отказа  $t$  моделируется с применением метода обратных функций:

$$t = -T \cdot \ln(P),$$

где  $T$  – средняя наработка на отказ, ч.;  $P$  – равномерно распределенная от 0 до 1 случайная величина.

Моделирование отказов производится до тех пор, пока сумма наработок до отказов не превысит расчетное время трелевки древесины. Далее моделируется время устранения отказов по системам трактора и группам сложности.

Необходимые данные об эксплуатационных характеристиках машин и оборудования, показателях надежности и прочие имеются в соответствующих таблицах ГИС.

С использованием предложенной системы нами ведется оценка функционирования следующих систем машин и оборудования на сплошных рубках главного пользования:

- валка деревьев МП-5 «Урал 2» + обрезка сучьев «Тайга-244» + трелевка ТЛТ-100;
- валка деревьев МП-5 «Урал 2» + обрезка сучьев «Тайга-244» + трелевка ТБ-1М-15;
- валка деревьев МП-5 «Урал 2» + обрезка сучьев и раскряжевка «Тайга-244» + трелевка ТБ-1М-16.

Выбор именно этих систем машин на рубках главного пользования обусловлен их низкими приведенными эксплуатационными затратами в расчете на 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины.

В качестве различных вариантов организации технологического процесса сплошных рубок могут быть приняты комплексные бригады в составе:

- вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев – 1, 2, 3, 4 человека + 1 тракторист + 1 чоковерщик при хлыстовой технологии (трактор ТЛТ-100);
- вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев – 1, 2, 3, 4 человека + 1 оператор при хлыстовой технологии (трактор ТБ-1М-15);
- вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев и раскряжевщики – 1, 2, 3, 4, 5, 6 человек + 1 оператор при технологии заготовки и трелевки древесины сортиментами (форвардер ТБ-1М-16).

Имитационная модель сплошных рубок с оценочными показателями реализована в виде программы для ЭВМ на языке Map Basic.

Предварительные результаты имитационного моделирования приведены в таблице 1.

Из приведенных данных можно сделать следующие выводы:

- наиболее эффективной является сортиментная технология заготовки древесины при которой отношение прибыли к затратам составляет от 0,54 до 4,48, в то время при хлыстовой технологии это соотношение составляет от 0,24 до 1,51;
- наиболее эффективной при хлыстовой технологии заготовки леса является комплексная бригада в составе: вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев – 2 человека + 1 тракторист + 1 чоковерщик (трактор ТЛТ-100); вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев – 2 человека + 1 оператор (трактор ТБ-1М-15);
- при сортиментной технологии заготовки леса на базе форвардера ТБ-1М-16 оптимальный состав бригады следующий: вальщик – 1 человек + обрезчики сучьев и раскряжевщики – 5 человек + 1 оператор.
- наилучшие показатели эффективности работы систем машин достигаются в сосновых древостоях (отношение прибыли к затратам составляет 4,48), минимальные – в смешанных древостоях (отношение прибыли к затратам составляет 0,24).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В. Н. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе / В. Н. Андреев, Ю. Ю. Герасимов, Йёнссу: Издательство университета Йёнссу, 1999. 200 с.
2. Сютёв В. С. Компьютеризированная система выбора машин для рубок промежуточного пользования / В. С. Сютёв // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 3. Петрозаводск, 2003. С. 134-140
3. Герасимов Ю. Ю. Лесосечные машины для рубок ухода: Компьютерная система принятия решений / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сютёв

- нёв. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 236 с.
4. Герасимов Ю. Ю. Анализ эффективности работы форвардеров на основе имитационных ГИС-моделей / Ю. Ю. Герасимов, С. А. Кильпелайнен, В. М. Костюкевич, В. С. Сюнёв // Научно-технический прогресс в лесном комплексе: Матер. науч.-практ. конф. (Сыктывкар, Республика КОМИ, Россия, 18-20 апреля 2000 г.). Сыктывкар, 2000. С. 32-33.
  5. Кильпелайнен С. А. Система оценки функционирования систем машин при сплошных рубках / С. А. Кильпелайнен, С. Н. Перский // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего: Тезисы докл. межд. науч.-практ. конф., посв. 50-летию лесоинженерного факультета ВГЛТА. Воронеж, 2004.
  6. Перский С. Н. Надежность лесных тракторов за гарантийный период эксплуатации // Новые технологии и устойчивое управление в лесах Северной Европы: Тезисы докл. межд. науч.-практ. конф., посв. 50-летию ЛИФа ПетрГУ. Петрозаводск, 2001. С. 96-97.
  7. Герасимов Ю. Ю. Информатизация лесного комплекса: обработка и анализ растровых изображений в геоинформационных системах: учебное пособие / Ю. Ю. Герасимов, С. А. Кильпелайнен, М. А. Мазуркевич, А. П. Соколов. Петрозаводск, 2001. 236 с.

Таблица 1

## Показатели функционирования систем машин и оборудования

Число вальщиков	Технология заготовки и трелевки древесины хлыстами						Технология заготовки и трелевки древесины сортиментами		
	Валка и обрезка сучьев МП + ТЛТ-100			Валка и обрезка сучьев МП + ТБ-1М-15			Валка, обрезка сучьев и раскряжевка МП + ТБ-1М-16		
	производительность, м <sup>3</sup> /час	полные затраты, руб./м <sup>3</sup>	прибыль, руб./м <sup>3</sup>	производительность, м <sup>3</sup> /час	полные затраты, руб./м <sup>3</sup>	прибыль, руб./м <sup>3</sup>	производительность, м <sup>3</sup> /час	полные затраты, руб./м <sup>3</sup>	прибыль, руб./м <sup>3</sup>
Преобладание березы (более 80%) возраста 80 лет									
1	3,94	139,8	90,2	3,94	156,6	73,4	2,15	243,2	234,4
2	7,89	111,4	118,6	7,89	118,4	111,6	4,29	165,5	312,3
3	8,99	109,8	120,2	10,72	108,6	121,3	6,44	139,2	338,3
4	9,01	112,0	117,9	10,72	111,1	118,9	8,58	126,3	351,3
5							10,72	118,8	358,7
6							10,72	120,7	356,8
Преобладание сосны (более 80%) возраста 120 лет									
1	7,34	105,2	124,8	7,34	113,0	117	3,72	166,5	377,2
2	13,22	91,7	138,3	14,67	92,2	137,8	7,43	121,5	422,2
3	13,21	93,5	136,5	15,99	91,7	138,3	11,15	106,5	437,9
4	13,23	95,1	134,9	15,99	93,2	136,8	14,87	99,2	444,5
5							16,02	98,3	445,4
6							15,02	100,1	443,6
Преобладание ели (более 80%) возраста 110 лет									
1	7,21	107,7	122,3	7,21	115,8	114,2	3,66	170,0	357,9
2	13,02	94,0	136,0	14,41	94,9	135,1	7,32	124,6	403,3
3	13,02	95,7	134,3	15,69	94,5	135,5	10,98	109,1	418,8
4	13,02	97,4	132,6	15,64	96,1	133,9	14,64	101,7	426,3
5							15,71	101,2	426,8
6							15,71	102,5	425,5
Смешанный древостой (около 33 % каждой породы) возраста 80-100 лет									
1	3,01	164,3	65,7	3,01	186,1	43,9	1,69	291,3	157,6
2	6,02	127,2	102,8	6,02	135,6	94,4	3,39	192,9	256,1
3	7,71	120,3	109,7	8,19	123,3	108,0	5,08	160,3	288,7
4	7,71	123,1	106,9	8,19	125,9	104,1	6,78	144,0	305,0
5							8,19	135,8	313,1
6							8,19	138,5	310,4