

The background of the cover is a photograph of a forest. In the lower portion, a truck is seen from behind, carrying a large load of cut logs on its trailer. The logs are stacked neatly. The forest is dense with green trees, and the lighting suggests a bright day. The overall scene is related to forestry and timber transport.

А. П. МОХИРЕВ

К. П. РУКОМОЙНИКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ
СТРУКТУРЫ
ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ
ПОТОКОВ

МОНОГРАФИЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. П. МОХИРЕВ
К. П. РУКОМОЙНИКОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Монография

Йошкар-Ола
2022

УДК 51-7:630*7
ББК 65.342.1
М 86

Рецензенты:

А. П. Соколов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных и технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»;

А. В. Скрыпников, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»;

Ю. Н. Пильник, доктор технических наук, профессор кафедры экологии, землеустройства и природопользования ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Мохирев, А. П.

М 86 Моделирование структуры лесотранспортных потоков: монография / А. П. Мохирев, К. П. Рукомойников; Министерство науки и высшего образования РФ, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2022. – 396 с.
ISBN 978-5-8158-2263-4

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяющие обосновать рациональные технологические цепочки работы лесозаготовительных предприятий. Разработаны математические, графоаналитические и имитационные модели, а также методики расчетов для обоснования рациональной структуры лесотранспортных потоков, дающие возможность повысить доступность лесных участков, сократить материальные затраты на выполнение транспортных операций и снизить негативные экологические последствия лесозаготовок. Исследования проведены в динамически изменяющихся природно-производственных условиях многолесных районов с использованием географических информационных систем.

Для исследователей, специалистов лесного комплекса, аспирантов и магистрантов лесопромышленных специальностей и направлений подготовки.

УДК 51-7:630*7
ББК 65.342.1

ISBN 978-5-8158-2263-4

© Мохирев А. П., Рукомойников К. П., 2022
© Поволжский государственный
технологический университет
(оригинал-макет), 2022



Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
по проекту № 21-11-00010

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Siberian Federal University
Volga State University of Technology

A. P. MOKHIREV
K. P. RUKOMOJNIKOV

Modeling the structure of timber transport flows

Monograph

Yoshkar-Ola
2022

UDC 51-7:630*7
BBC 65.342.1
M 86

Reviewers:

A. P. Sokolov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Equipment of the Petrozavodsk State University;

A. V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security of the Voronezh State University of Engineering Technologies;

Yu. N. Pilnik, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Ecology, Land Management and Nature Management of the Ukhta State Technical University

Mokhirev, A. P.

M 86 Modeling the structure of timber transport flows: monograph / A. P. Mokhirev, K. P. Rukomojnikov; Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Siberian Federal University, Volga State University of Technology. – Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2022. – 396 p.
ISBN 978-5-8158-2263-4

The scientific publication presents the results of theoretical and experimental studies that allow us to justify the rational technological chains of the work of logging enterprises. Mathematical, graphoanalytic, and simulation models, as well as calculation methods, have been developed to justify the rational structure of forest transport flows, which make it possible to increase the availability of forest areas, reduce material costs for performing transport operations, and reduce the negative environmental consequences of logging. The research was carried out in dynamically changing natural and industrial conditions of multi-forest areas using geographical information systems. The publication is intended for researchers, specialists of the forest complex, postgraduates and undergraduates of forestry specialties.

UDC 51-7:630*7
BBC 65.342.1

ISBN 978-5-8158-2263-4

© Mokhirev A. P., Rukomojnikov K. P., 2022
© Volga State University of Technology
(original-layout), 2022



The publication was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research under the project No. 21-11-00010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
ВВЕДЕНИЕ	13
ГЛАВА 1: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	15
1.1. Теоретические и методологические аспекты оценки доступности древесных ресурсов	15
1.1.1. Анализ доступности древесных ресурсов	15
1.1.2. Методы и способы оценки доступности древесных ресурсов	18
1.1.3. Исследование влияния различных факторов на ключевые критерии оценки доступности древесных ресурсов	20
1.2. Анализ географических информационно-аналитических систем, направленных на освоение лесных ресурсов	27
1.3. Анализ исследований, посвященных развитию транспортной инфраструктуры лесных кварталов	34
1.4. Анализ исследований, посвященных моделированию технологии лесосечных работ в динамических природно-производственных условиях освоения лесной квартальной сети	42
1.5. Анализ исследований, посвященных выбору технологических цепочек лесозаготовительного производства	45
1.6. Анализ возможностей имитационного моделирования в решении задач лесозаготовительного производства	48
1.7. Анализ исследований определения скоростных показателей автомобиля при транспортировке древесины с лесосек в условиях сезонности лесотранспортных потоков	56
1.8. Анализ исследований математических зависимостей расчета производительности лесовозного автотранспорта при вывозке древесины с лесосек	58
1.9. Анализ природно-производственных особенностей крупных лесозаготовительных районов в контексте освоения лесных ресурсов на примере Красноярского края РФ	62
1.9.1. Оценка древесно-ресурсного потенциала	62
1.9.2. Климатические особенности региона	64
1.9.3. Обоснование сезонности заготовки древесины	69
1.9.4. Оценка плотности дорог	72
Выводы, цели и задачи исследования	76
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ДОСТУПНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ И РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДОСТАВКИ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС	78
2.1. Методика определения доступности древесных ресурсов	79
2.2. Методика определения рациональных маршрутов доставки древесины с лесосеки до потребителя	86

2.3. Сбор и обработка исходных данных для получения картографического материала на примере ArcGis в условиях Красноярского края	93
2.4. Результаты определения доступности и маршрута минимальной стоимости на примере лесничеств Красноярского края	108
2.4.1. Пример определения доступности древесных ресурсов	108
2.4.2. Пример определения маршрутов минимальной стоимости на территории Гремучинского ЛЗУ ЗАО «Новоенисейский ЛХК»	111
2.5. Использование созданной методики в рациональном планировании освоения участков лесного фонда	117
Выводы по главе 2	118
ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБУСТРОЙСТВА ЛЕСОСЕК В ГРАНИЦАХ ЛЕСНОЙ КВАРТАЛЬНОЙ СЕТИ	120
3.1. Структуризация погрузочных пунктов и магистральных волоков в условиях существующей сети лесовозных дорог в квартале	120
3.2. Структуризация погрузочных пунктов и магистральных волоков в условиях проектируемой сети лесовозных дорог в квартале	129
3.3. Обоснование основных технологических параметров лесосек	139
3.3.1. Обоснование числа, размера и формы делянок	139
3.3.2. Обоснование среднего расстояния трелевки	144
Выводы по главе 3	150
ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ	151
4.1. Моделирование структуры лесотранспортных потоков в границах лесной квартальной сети в нечетких динамических природно-производственных условиях окружающей среды	151
4.1.1. Математическая модель	151
4.1.2. Алгоритм решения задачи	160
4.1.3. Численный пример решения задачи	162
4.2. Моделирование структуры лесотранспортных потоков крупных лесозаготовительных предприятий в динамических природно-производственных условиях	167
4.2.1. Математическая модель	167
4.2.2. Алгоритм решения задачи	175
4.2.3. Описание программного обеспечения	177
4.2.4. Численный пример решения задачи	188
4.2.5. Сетевое планирование технологической цепочки освоения лесных участков	194
4.3. Обоснование технологической цепочки лесозаготовительных работ с определением оптимального портфеля товарной продукции из порубочных остатков (вторичных древесных ресурсов)	202
Выводы по главе 4	216

ГЛАВА 5. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ	219
5.1. Моделирование технологического процесса лесотранспортных работ малообъемных лесопромышленных предприятий	219
5.2. Моделирование технологического процесса вывозки древесины многолесных районов	226
5.2.1. <i>Формирование базы данных и критериев функционирования имитационной модели</i>	226
5.2.2. <i>Системный анализ информационной составляющей среды функционирования агентов имитационной модели технологического процесса</i>	230
5.2.3. <i>Моделирование технологического процесса погрузочно-разгрузочных работ при вывозке древесины с лесосек</i>	234
5.2.4. <i>Моделирование технологического процесса погрузочно-разгрузочных работ на промежуточных складах предприятий</i>	238
5.2.5. <i>Моделирование технологического процесса лесоскладских работ на нижнем складе предприятия</i>	244
5.2.6. <i>Моделирование технологического процесса работы лесовозов при вывозке древесины</i>	244
5.2.7. <i>Моделирование технологического процесса работы погрузочно-разгрузочных механизмов при обеспечении работы на лесосеках и промежуточных складах предприятий</i>	249
5.2.8. <i>Проверка работоспособности имитационной модели в производственных условиях Красноярского края</i>	251
Выводы по главе 5	253
ГЛАВА 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	255
6.1. Постановка натуральных экспериментальных исследований движения лесовозов в различных природно-производственных условиях	255
6.1.1. <i>Описание многофакторного эксперимента</i>	255
6.1.2. <i>Верификация математических моделей</i>	263
6.1.3. <i>Анализ факторов, влияющих на скорость движения автолесовоза</i>	267
6.1.4. <i>Влияние природно-климатических факторов на скорость автолесовоза с учетом сезонности лесозаготовительного процесса</i>	273
6.2. Постановка экспериментальных исследований на имитационной модели технологического процесса вывозки древесины	280
6.2.1. <i>Обоснование теоретической производительности лесовозного транспорта на основе имитационного моделирования технологического процесса</i>	280
6.2.2. <i>Обоснование рационального организационно-технологического процесса вывозки древесины на основе сокращения сроков реализации работ</i>	293
Выводы по главе 6	295

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	297
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	299
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	301
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	302
ПРИЛОЖЕНИЯ	331
<i>Приложение А</i>	
Поправочные коэффициенты, использованные при определении рациональных маршрутов в условиях лесных участков Красноярского края	332
<i>Приложение Б</i>	
Построение в MathCAD математической модели выбора вариантов транспортно-технологического освоения лесного квартала	334
<i>Приложение В</i>	
Численный пример решения задачи нахождения рациональной технологической цепочки лесотранспортных потоков в лесном квартале	337
<i>Приложение Г</i>	
Численный пример решения задачи нахождения рациональной технологической цепочки лесозаготовительного предприятия	344
<i>Приложение Д</i>	
Рейтинг факторов, влияющих на скорость движения автолесовозов, по убыванию коэффициента корреляции при однофакторном моделировании	369
<i>Приложение Е</i>	
Модели суммарного и частного влияния факторов в зависимости от их ранговых характеристик (монарное соотношение)	372
<i>Приложение Ж</i>	
Результаты имитационного моделирования	380
Сведения об авторах	394