

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4161

УДК 630.3

Статья

## МЕТОДИКА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА СХЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕЖДУНАРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК ДРЕВЕСИНЫ

Всеволод А. Шаин<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Петрозаводский государственный университет, Россия, 185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 29, E-Mails: [shain.vsevolod@gmail.com](mailto:shain.vsevolod@gmail.com) (В. Ш).

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: [shain.vsevolod@gmail.com](mailto:shain.vsevolod@gmail.com) (В. Ш.); Tel.: +7(911)4203074

Получена: 21 июня 2018 / Принята: 30 июня 2018 / Опубликовано: 6 июля 2018

---

**Аннотация:** Экспорт круглого леса представляет собой сложный и экономически затратный процесс. Основной операцией, выполняемой в процессе экспорта, является транспортировка, от стоимости которой напрямую зависит экономическая эффективность данного вида деятельности. Снижение транспортных издержек будет способствовать уменьшению стоимости международных перевозок древесины, что, в свою очередь, приведёт к значительной экономии средств, актуальной в условиях текущего экономического кризиса. Это особенно важно для малых предприятий, работающих в приграничных зонах и осуществляющих экспорт леса автомобильным транспортом. Анализ деятельности лесозаготовительных предприятий и научных исследований в сфере международных перевозок древесины показал, что нет единого алгоритма поддержки принятия решений для повышения их эффективности и снижения экономических затрат. Автором данной статьи предложена специальная методика для поддержки принятия решений по выбору схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины. Методика основывается на теоретико-множественной модели логистической системы международных перевозок древесины. Разработанная методика направлена на решение следующих задач: выбор модели транспортировки и определение вида (видов) транспорта, выбор типов транспортных средств, выбор схемы транспортировки, учёт и обоснование параметров функционирования пограничных переходов, обоснование мощностей

на перевозках. Данная методика включает следующие блоки: сбор и обработка исходных данных, имитационное моделирование различных схем транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины, обработка результатов моделирования, выбор наиболее экономически эффективной схемы транспортировки. Основным элементом методики является имитационная модель международных перевозок древесины, выполненная в среде компьютерного моделирования AnyLogic PLE. Основной задачей модели является имитация различных схем транспортировки древесины заграничному потребителю с учётом максимального количества факторов, влияющих на процесс транспортировки. В результате апробации методики удалось сократить транспортные издержки при экспорте древесины автомобильным транспортом на 30 %.

**Ключевые слова:** транспортная логистика, транспорт леса, экспорт древесины, имитационное моделирование.

---

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4161

*Article*

## **DECISION SUPPORT METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF A TRANSPORTATION SCHEME OF INTERNATIONAL TIMBER TRANSPORTATION**

**Vsevolod A. Shain<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Lenin av., 29. E-Mail: [shain.vsevolod@gmail.com](mailto:shain.vsevolod@gmail.com) (V. S.)

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: [shain.vsevolod@gmail.com](mailto:shain.vsevolod@gmail.com); Tel.: +7(911)4203074

*Received: 21 Jun 2018 / Accepted: 30 Jun 2018 / Published: 6 July 2018*

---

**Abstract:** The cross-border timber transportation process is expensive and difficult to arrange. Transportation is a main operation performed in the process of export. The transportation cost directly affects the economic efficiency of this type of activity. Reducing transport costs will help reduce the international timber transportation cost, which in turn will lead to significant cost savings that are relevant in the current economic crisis. This is especially important for small enterprises operating in the border areas that export timber by automobile transport. Analysis of scientific research in the international timber transportation field has shown that there is no single algorithm to support the decision making procedure in order to increase its efficiency and reduce economic costs. The author of this article proposes a decision support methodology for the selection of a transportation scheme of international timber transportation. The set-theoretical model is a base and part of the methodology. The methodology allows us to perform the following: selection of the transportation model and types of vehicles; selection of trucks characteristics; choice of alternative transportation modes; spatial layout of the intermediate yards and sites; operating parameters of border crossing points; logging trucks routing and transportation planning; transportation capacity. This methodology includes the following blocks: collection and processing of initial data, simulation of various schemes of the transport-technological international timber transportation process, processing of simulation results, the most cost-effective transportation scheme selection. The developed methodology includes a simulation of international timber transportation performed in the AnyLogic PLE computer simulation environment. The main task of the model is to imitate various wood transportation schemes to a foreign consumer taking into account

the maximum number of factors affecting the transportation process. The methodology approbation showed the possibility to reduce transport costs when exporting timber by road by 30%.

**Keywords:** transport logistic, timber transportation, simulation, international timber transportation.

---

## 1. Введение

Российская Федерация является одним из главных экспортёров круглого леса. По данным таможенной базы ВЭД, Россия занимает 3-е место в экспорте лесоматериалов после США и Канады. Годовой объём экспорта круглого леса за первую половину 2016 г. составил 14,7 млн куб. м, что эквивалентно 667 млн дол. США. Доля экспорта круглого леса составляет 22 % от общего объёма экспортируемых лесоматериалов.

Основной операцией, выполняемой в процессе экспорта, является транспортировка, от стоимости которой напрямую зависит экономическая эффективность данного вида деятельности. Снижение транспортных издержек будет способствовать уменьшению стоимости международных перевозок древесины, что, в свою очередь, приведёт к значительной экономии средств, актуальной в условиях текущего экономического кризиса. Это особенно важно для малых предприятий, работающих в приграничных зонах и осуществляющих экспорт леса автомобильным транспортом.

Международные перевозки древесины автомобильным транспортом — сложный и экономически затратный процесс. Данный вид перевозок схож с местными перевозками древесины, однако есть существенные различия, из-за которых и возникают дополнительные затраты. К таким различиям можно отнести необходимость пересечения границы государств через специальные таможенные контрольно-пропускные пункты, где возникают вынужденные простои в связи с проведением процедур таможенного контроля и необходимостью выполнения таможенных требований государств-импортёров. Ярким примером являются ограничения, установленные договором между Россией и Финляндией, по которым максимально допустимая снаряжённая масса лесовозного автомобиля, пересекающего границу Финляндии, не должна превышать 40 т, а объём вывозимого круглого леса — 27 куб. м. Такие ограничения приводят к тому, что автомобили следуют к зарубежным потребителям недогруженными на 40—50 %.

Однако главной проблемой является отсутствие единой методологии планирования и оперативного принятия решений в области данного типа перевозок. Малые предприятия-лесозаготовители в процессе планирования производства, по сути, предоставлены сами себе и вынуждены руководствоваться собственными наработками и опытом при выборе производственных мощностей, различных схем и вариантов вывозок, генераций транспортных планов. Кроме того, предприятиями не проводятся мероприятия по мониторингу и оптимизации производственного процесса экспорта древесины. Это связано со значительной трудоёмкостью и себестоимостью исследований, что нерентабельно, особенно для небольших экспортёров древесины.

В связи с вышесказанным автором данной статьи было проведено исследование, в результате которого была предложена специальная методика для поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины.

Цель исследования: повышение эффективности международных перевозок древесины и снижение транспортных затрат.

Задачи исследования:

- 1) Исследование процесса международных перевозок древесины, в том числе обзор научных работ по данной теме.
- 2) Разработка специальной методики повышения эффективности международных перевозок древесины.
- 3) Апробация методики.

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Обзор научных исследований

Фундаментом для разработки методики послужили исследования процесса международных перевозок древесины, приведённые в диссертационной работе [24], а также труды учёных в области лесной логистики и имитационного моделирования.

Процесс транспортировки строится на теории логистики. **Логистика** — научное и практическое направление деятельности по интеграции управления процессами движения, совокупности материальных, информационных, финансовых, трудовых и правовых потоков в экономических системах [8]. В случае организации перевозок древесины применяется термин «логистика лесозаготовок» и так называемый «логистический подход» как один из наиболее эффективных способов интеграции многих отдельных инструментов поддержки принятия управленческих решений. Детально вопросы теории и оптимизации лесной логистики рассмотрены в трудах учёных Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета: Э. О. Салминена, А. В. Яшина, С. С. Стороженко и др.; Петрозаводского государственного университета: Ю. Ю. Герасимова, В. К. Катарова, А. П. Соколова, В. С. Сюнева и др., учёных Университета Йёэнсуу — Tuomo Nurminen и Jaakko Heinonen. Тема имитационного моделирования логистических систем раскрыта в трудах Ю. И. Толуева, Т. П. Замановской, рассмотренные труды учёных А. В. Антонова, В. Н. Волкова, А. А. Денисова, Е. С. Вентцель, В. А. Гайдеса посвящены системному анализу.

В работах [11, 12] рассматриваются особенности лесозаготовительного производства как логистической системы, определяются задачи, решаемые на различных уровнях управления лесозаготовительным производством, раскрываются особенности основного материального потока лесозаготовительного предприятия.

При **стратегическом планировании** — долгосрочном планировании (5—100 лет и более) производится выбор применяемой технологии лесозаготовки, который определяет типы используемых машин, размеры делянок, технологию их разработки, требования к дорожной сети и погрузочным площадкам, системам измерения и учёта, максимальным расстояниям вывозки. Стратегическое планирование включает долгосрочное

прогнозирование экономических, экологических и социальных последствий выбранного курса действий, выполняется оценка последствий планируемых мероприятий.

**Тактическое (или среднесрочное) планирование** — переходный уровень между стратегическим и оперативным планированием (5—10 лет). При решении лесохозяйственных задач переход от стратегического планирования к тактическому уровню можно охарактеризовать тем, что на тактическом уровне все решения принимаются уже с полным учётом текущей пространственной структуры производства (взаимного расположения в пространстве лесных участков, терминалов, потребителей, а также связывающей их транспортной сети). На тактическом уровне определяются производственные подразделения, ресурсы, потребители, способы доставки (автомобильный, водный, железнодорожный транспорт) и т. д., оцениваются время производственного цикла, размеры партии и методы учёта и контроля. Важными задачами тактического планирования также являются учёт сезонности выполняемых работ (транспортная доступность дорог в разные периоды года, зимние и летние лесозаготовки) и планирование бюджета лесозаготовительного предприятия. Предприятия, как правило, планируют годовой бюджет, основываясь на определяемых на тактическом уровне видах продукции и их годовых объёмах. Тактическое планирование должно соответствовать директивам, принятым на стратегическом уровне.

**Оперативное (краткосрочное) планирование** — планирование, которое непосредственно предшествует выполнению логистических операций и должно однозначно и полностью определять их содержание. Эффективность оперативного планирования напрямую зависит от скорости поступления и качества информации о состоянии всех объектов и субъектов производственного процесса. Важными задачами краткосрочного планирования являются: поиск потребителей для всех видов продукции (дровяная древесина, отходы, пни); организация перевозок, а именно определение сменных заданий для отдельных транспортных единиц с оптимизацией используемых маршрутов движения между делянками, потребителями, терминалами, гаражами и т. д.

**Основной материальный поток логистической системы лесозаготовительного предприятия** заключается в движении древесины. Он берёт своё начало на лесном участке (делянке) с древесины на корню и заканчивается поставкой готовой продукции потребителям. Характер материального потока зависит от выбранной технологии, применяемых систем машин и организационных подходов. В общем случае над основным материальным потоком в лесозаготовительном предприятии выполняются следующие логистические функции: хранение, транспортировка, переработка. Каждая из этих логистических функций включает несколько логистических операций, состав которых также зависит от применяемых технологий и систем машин.

В работе [14] раскрыта актуальность поиска новых решений в сфере логистики лесозаготовок в России и описана специальная геоинформационная система поддержки принятия решений для оптимизации транспортных планов и логистики заготовленной древесины (СППР). В связи с тем, что в России логистические подходы к транспортировке

сортиментов ещё недостаточно развиты, а программные инструменты, разработанные в странах с богатым опытом применения сортиментного подхода, не всегда применимы в российских условиях, авторами была создана система для планирования и анализа транспортировки сортиментов на уровне лесозаготовительной компании в российских условиях.

Такая система, по мнению авторов, должна предоставить лесозаготовительным компаниям всестороннюю информацию о выигрышах и ограничениях, связанных с применением различных вариантов транспортировки сортиментов. Структура программы представлена на рисунке 1.

Данная система была создана в среде MapInfo с использованием языков программирования MapBasic и C++, а также Microsoft Excel для формирования отчётов. Стоит заметить, что данный инструмент был создан для работы в условиях внутренних перевозок древесины (внутри страны, региона) и не учитывал возможности международных перевозок.

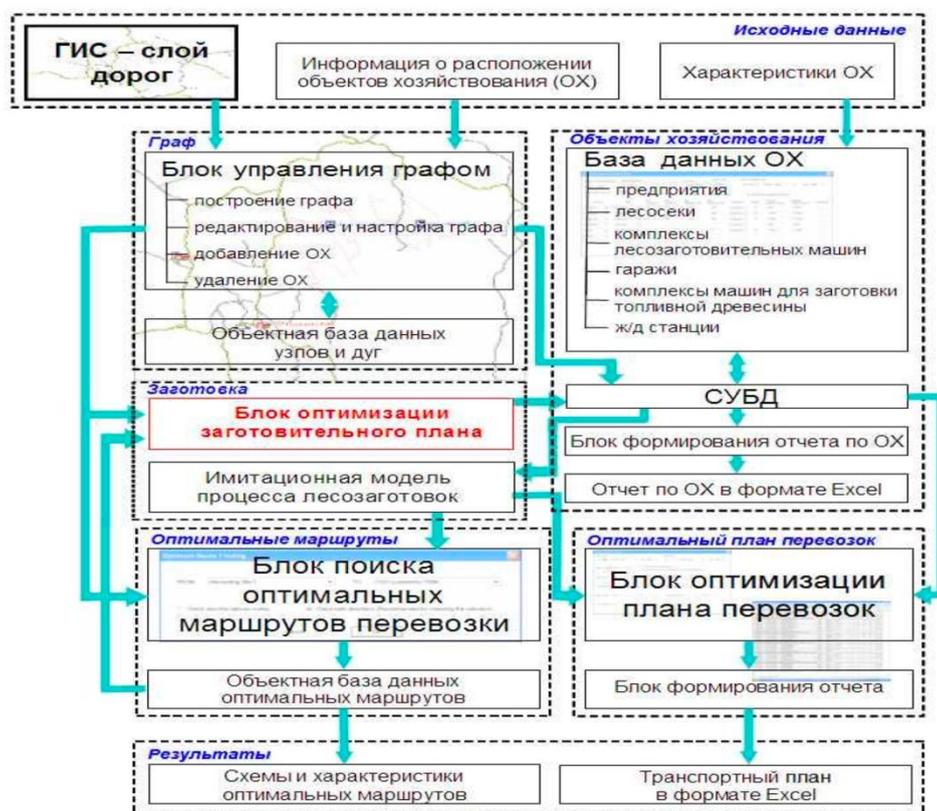


Рисунок 1. Блок-схема оптимизации лесозаготовительного плана

В дальнейшем данная система была включена в сложный комплекс компьютерных инструментов Logistic 7.0 [13]. Данный комплекс способен осуществлять содействие принятию решений при выполнении следующих задач:

- 1) Задача развития лесной дорожной сети.
- 2) Задача планирования заготовки деловой древесины.
- 3) Задача организации процессов транспортировки деловой древесины.
- 4) Задача определения доступных для энергетического использования объёмов древесной биомассы.
- 5) Задача внедрения технологии производства древесного топлива.

Данный инструмент включает блоки оптимизации и имитационного моделирования, которые используются для решения поставленных задач. К примеру, для решения задач планирования заготовки и организации процессов транспортировки деловой древесины используется следующий набор блоков, представленный на рисунке 1.

В результате работы данного инструмента (на выходе) пользователь получает всестороннюю информацию о выигрышах и ограничениях, связанных с применением различных вариантов технических, технологических и организационных решений на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях.

В работах [15, 21] представлены результаты использования данного инструмента в условиях международных автомобильных перевозок древесины. Авторами данных работ была произведена доработка компьютерного инструмента Logistic 7.0, в частности, был добавлен блок имитации пересечения межгосударственной границы. Для апробации работы данной системы были использованы два сценария: сценарий двухэтапной вывозки заграничным потребителям и сценарий, где вывозка производилась в один этап. В результате были получены технико-экономические показатели для двух сценариев, а их сравнение показало, что сценарий вывозки в один этап наиболее экономически эффективен, нежели двухэтапный.

Крайне значимы работы учёных Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета в области оптимизации логистики лесозаготовительных предприятий Э. О. Салминена, А. В. Яшина, С. С. Стороженко и др. К примеру, в работах [16, 25] приведён анализ особенностей функционирования транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия, разработаны логистико-математические модели оптимизации транспортных потоков и алгоритмы оптимального планирования и управления транспортными грузопотоками на предприятии в условиях многовариантности потребителей, использования различных типов транспортных средств, наличия погрузочных пунктов и с учётом сезонности грузоперевозок. Описана и апробирована созданная интегрированная диалоговая система планирования и управления транспортными грузопотоками. При решении поставленных в работе задач авторы использовали различные аналитические методы линейной и нелинейной оптимизации, методы теории двойственности, методы календарного планирования, математической статистики и принятия решений.

В работах таких учёных, как Ю. И. Толуев, Т. П. Замановская, раскрываются сущность и основные принципы имитационного моделирования логистических сетей, процессов и материальных потоков, описываются различные инструменты, используемые для моделирования [17, 18, 19, 20].

Особенно примечателен труд [17], где Ю. И. Толуев раскрыл понятие логистической сети и, согласно его классификации, логистические сети могут быть внутренними (сети логистики промышленного или логистического предприятия) и внешними (сети внешней логистики предприятия, или сети поставок) (рисунок 2).

Для построения логистических систем автор предлагает метод имитационного моделирования, так как имитационные модели, являясь производным количественных моделей, позволяют оценивать большую часть показателей производительности в виде временных рядов, а не в виде констант, что отражает динамику процессов, развивающихся в реальных системах.

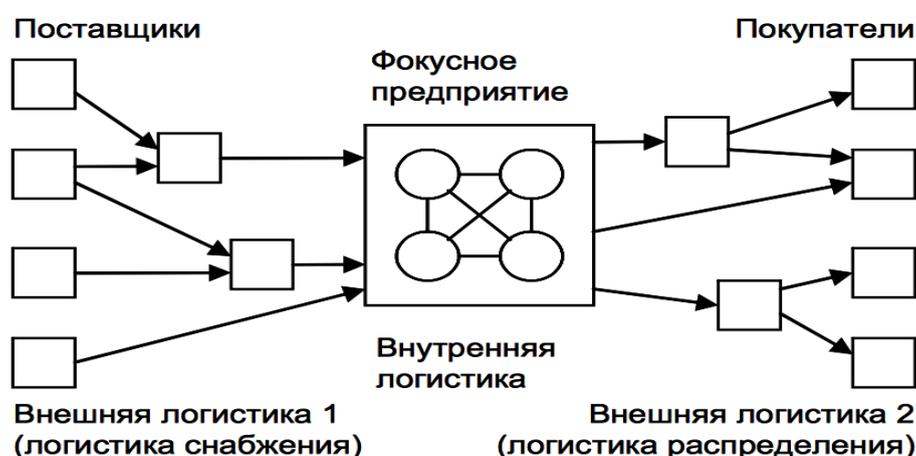


Рисунок 2. Внутренняя и внешняя логистика предприятия

Автор данной работы приводит пример использования имитационных моделей для построения концептуальных моделей логистических систем, ориентированных на изучение материальных потоков в логистических сетях, и предлагает использовать следующую методику, включающую принципы построения частичных моделей:

- моделей структуры системы обработки материальных потоков;
- моделей ассортимента и количества грузов в потоках;
- моделей пространственной вложенности грузов, носителей груза, транспортных средств и стационарных хранилищ груза;
- временных моделей входных потоков системы;
- моделей для определения длительности технологических операций;
- моделей маршрутизации динамических объектов (транспортных средств, носителей груза и самих грузов);
- моделей объединения и разделения динамических объектов;

- моделей стратегий обработки очередей ожидания;
- моделей стратегий управления запасами;
- моделей процессов распределения ресурсов и диспетчеризации.

Примечательна работа учёных Университета Йозенсуу Tuomo Nurminen и Jaakko Heinonen [30]. Здесь описывается исследование, проведённое с целью определения затрат времени на различные этапы транспортировки древесины с делянок до потребителей в Финляндии. Основной задачей учёных в данном исследовании было создание модели временных затрат для типовых перевозок древесины на территории Финляндии, а также статистическая обработка полученных данных.

Исследование проводилось в течение одного месяца. Для восьми автомобилей, задействованных на различных транспортных операциях, собирались хронометрические данные по каждому этапу их работы. После сбора данных был произведён их анализ и разработаны модели, описывающие затраты времени для отдельных этапов работы и для общего времени вывозки. Полученные модели и результаты, по мнению авторов, являются многообещающим инструментом для поддержки планирования и оптимизации транспортных маршрутов.

Вопросами системного анализа и исследования операций занимались такие учёные, как А. В. Антонов [1], В. Н. Волкова, А. А. Денисов [6], Е. С. Вентцель [5], В. А. Гайдес [7].

В работах [2, 3, 4, 9, 10] авторами раскрывается сущность имитационного моделирования, его место в научно-исследовательских процессах современности, а также приводятся примеры использования различных компьютерных инструментов имитационного моделирования для логистических сетей. К примеру, в учебном пособии [1] приводятся подробное описание различных современных систем имитационного моделирования и их основные характеристики, в пособиях [3, 9] описываются примеры использования таких систем имитационного моделирования, как GPSS WORLD и AnyLogic.

## **2.2. Описание методики для поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины**

В основу методики для поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины легла разработанная теоретико-множественная модель логистической системы международных перевозок древесины. Данная модель представляет собой формальное и функциональное описание логистической системы международных перевозок древесины как динамической территориально-распределённой системы и имеет следующий вид:

$$\text{ЛСМПД} = \{T, K, M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, V^t, S, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, Q^t\}, \quad (1)$$

где  $T$  — хронология функционирования логистической системы;  $K$  — карта, описывающая дорожную систему;  $M_i$  — множество элементов модели (воздействия, ресурсы, бригады сотрудников и др.);  $V^t$  — множество входных воздействий (заказов), поступающих в систему в момент времени  $t$ ;  $S$  — множество состояний, в которых пребывают комплексы ресурсов (занят / не занят);  $R_i$  — статические отношения между элементами модели;  $Q^t$  — множество зависящих от времени функциональных отношений.

Разработанная методика включает совокупность методов и инструментов, направленных на решение следующих конкретных задач:

- 1) Выбор модели транспортировки и определение вида (видов) транспорта.
- 2) Выбор типов транспортных средств.
- 3) Выбор схемы транспортировки.
- 4) Учёт и обоснование параметров функционирования пограничных переходов.
- 5) Обоснование мощностей на перевозках.

Методика включает следующие блоки (рисунок 3):

- 1) Блок исходных данных и блок статистической обработки данных.
- 2) Блок определения параметров потока поступления экспортной древесины на транзитно-перевалочные терминалы.
- 3) Блок имитационной модели процесса международных перевозок древесины автомобильным транспортом.
- 4) Блок обработки и сравнения полученных результатов.

На выходе предложенная методика позволяет определить наиболее эффективную схему транспортировки древесины заграничным потребителям.

**Блок исходных данных.** Блок исходных данных включает сбор и обработку следующих данных:

1) Данные о лесосырьевой базе. Включают количество участков, их характеристики (потенциальный объём заготовки, породный состав, вид рубки и др.), а также пространственное расположение.

2) Данные о применяемых технологиях. Включают сведения о применяемых технологиях заготовки, транспортировке и др.

3) Данные о производственных мощностях. Включают количество, виды и характеристики машин, используемых на заготовке, транспортировке и других технологических операциях.

4) Данные о потребителях. Включают количество потребителей, их пространственное расположение и характеристики (плановый объём поставок и номенклатура).

5) Дорожная сеть — пространственная модель дорожной сети, учитывающая скоростные режимы различных участков дорог и объединяющая все объекты хозяйствования.

6) Параметры функционирования пограничных КПП. Включают пространственное расположение, технологию таможенных процедур (порядок проведения, особенности) и характеристики (пропускная способность и режим работы).

7) Данные хронометрирования — затраты времени на проведение различных технологических операций, таких как погрузка, разгрузка, транспортировка, процедуры таможенного контроля.

8) Данные о простоях по причине технического обслуживания ремонта. Включают периодичность ТО и Р, техническое состояние машин и оборудования.

9) Режим труда и отдыха персонала объектов хозяйствования, водителей и пограничных КПП. Включают расписание перерывов, пересменки и др.



**Рисунок 3.** Методика поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины

К исходным данным также можно отнести параметры потока поступления экспортной древесины на транзитно-перевалочные склады, которые включают данные о периодичности поступления объёмов древесины на транзитно-перевалочные терминалы, а также фактический объём, доставленный на каждый терминал за определённый период времени.

Сбор исходных данных может производиться с помощью различных методов и инструментов, которые зависят от целей и задач исследования. Такие исходные данные, как применяемые технологии, режим труда и отдыха, потребители, производственные мощности и параметры функционирования контрольно-пропускных пунктов, не требуют статистической обработки и задаются непосредственно в имитационную модель.

Параметры потока поступления экспортной древесины на транзитно-перевалочные склады могут быть определены путём статистической обработки данных, полученных в результате наблюдения или с помощью специального метода, который заключается в моделировании и оптимизации процессов заготовки и транспортировки древесины на транзитно-перевалочные терминалы. В данном случае выбор зависит от того, насколько серьёзные изменения претерпела структура выхода продукции с делянок и их пространственная структура. Если изменения наблюдаются, то во избежание ошибок в расчётах необходимо воспользоваться методикой определения искомых параметров. Пример использования данного метода приведён в работах [13, 15].

**Блок имитационной модели процесса международных перевозок древесины автомобильным транспортом.** Важнейшим компонентом рассматриваемой методики является имитационная модель международных перевозок древесины, разработанная в среде компьютерного моделирования AnyLogic PLE. Данный инструмент основывается на мультиплатформенном языке программирования Java и поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: дискретно-событийный, системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию.

Основная задача модели заключается в имитации различных схем транспортировки древесины заграничным потребителям с учётом максимального количества факторов, влияющих на данный вид перевозок.

Анимация модели представлена на рисунке 4. Работу модели можно описать следующим образом: в начале моделирования в специальном узле (Storage) генерируются основные агенты, имитирующие груз древесины. Далее, некоторое заданное количество захватывается потребителем. Захваченные агенты перемещаются с помощью ресурсов, которые имитируют лесовозные автопоезда и погрузочно-разгрузочную технику. Для каждого ресурса задаются количество, начальное местоположение, точка или область (Garage, ForkliftZone), расписание и режим работы, а также интенсивность отказов. Стоит заметить, что агенты конкурируют между собой за право обладать ресурсами.

Ещё одним важным ресурсом, взаимодействующим с агентами, является персонал пограничного контрольно-пропускного пункта (CrossBorder Checkpoint), имитирующий задержание и проверку лесовозных автопоездов при пересечении межгосударственной границы.

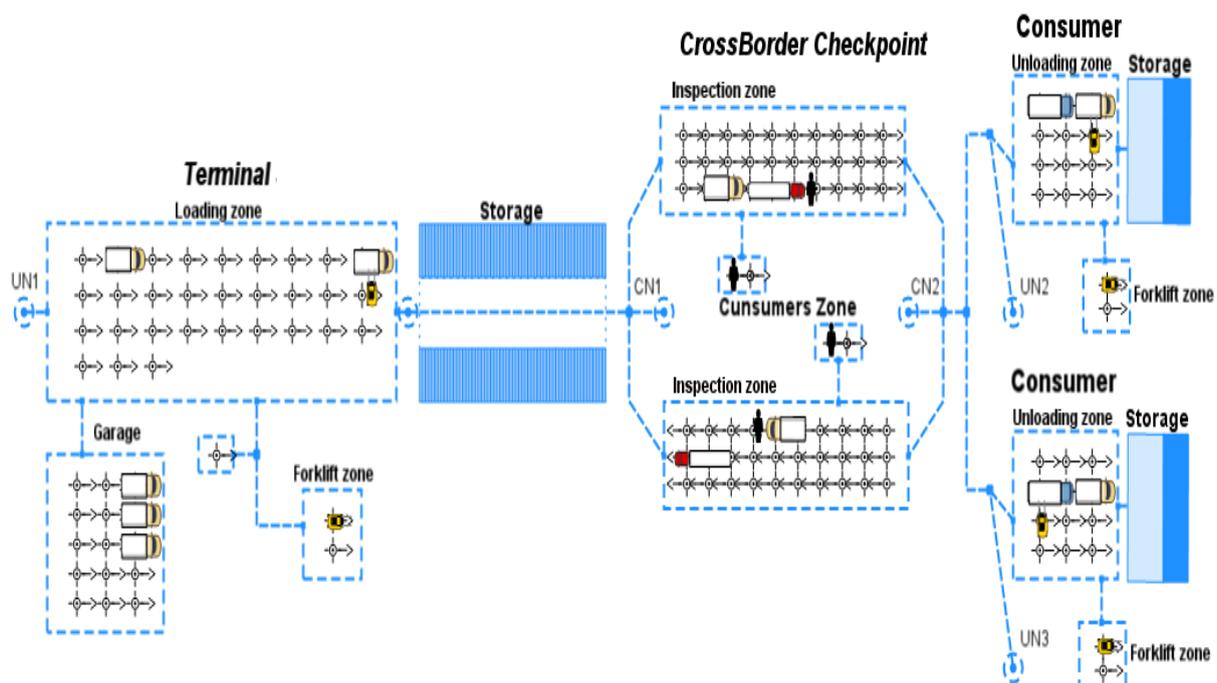


Рисунок 4. Анимация имитационной модели

Помимо вышеперечисленных основных агентов, существуют дополнительные, представленные в виде лесовозов с грузом древесины и грузовых автомобилей. Они генерируются в специальных точках входа (для лесовозов UN2,3; для грузовых автомобилей CN1,2;), находящихся рядом с такими областями воздействия на агентов, как погрузка (Loading zone), разгрузка (Unloading zone) и таможенный контроль (Inspection zone), и так же, как основные агенты, задействуют ресурсы для разгрузки и проведения процедур таможенного контроля. В точке входа UN1 генерируются дополнительные агенты, имитирующие поступление объёмов древесины на транзитно-перевалочный терминал. В результате между основными и дополнительными агентами возникает конкуренция за право обладания тем или иным ресурсом. После освобождения ресурсов такие агенты сразу уничтожаются.

В результате конкуренции агентов, затрат времени на воздействия (технологические операции), а также ограниченного количества ресурсов в областях воздействия (погрузка, разгрузка и таможенный контроль) возникают очереди.

На выходе имитационная модель позволяет получить такие показатели, как:

1. Загруженность ресурсов (лесовозов, погрузчиков и т. д.).
2. Количество ресурсов, задействованное на выполнении операций.
3. Время, затрачиваемое на выполнение операций.
4. Время, затрачиваемое на простои в очередях.
5. Длины очередей.
6. Узкие места системы.

**Обработка полученных результатов.** Обработка полученных результатов включает определение таких показателей, как производительность ресурсов, транспортные затраты и себестоимость вывозки. Сравнение полученных показателей для каждой схемы позволяет выбрать наиболее экономически эффективную. Критерием эффективности является наименьшее значение стоимости транспортировки 1 куб. м древесины.

### 3. Результаты

Для апробации методики поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины были использованы данные полевых исследований деятельности лесозаготовительного предприятия, осуществляющего экспорт древесины в Финляндию. Апробация заключалась в прогоне трёх схем транспортировки и сравнении полученных результатов с целью определения наиболее эффективной схемы (по отношению к базовой). За критерий эффективности была взята наименьшая цена транспортировки 1 куб. м древесины. Каждая схема была направлена на решение конкретных задач:

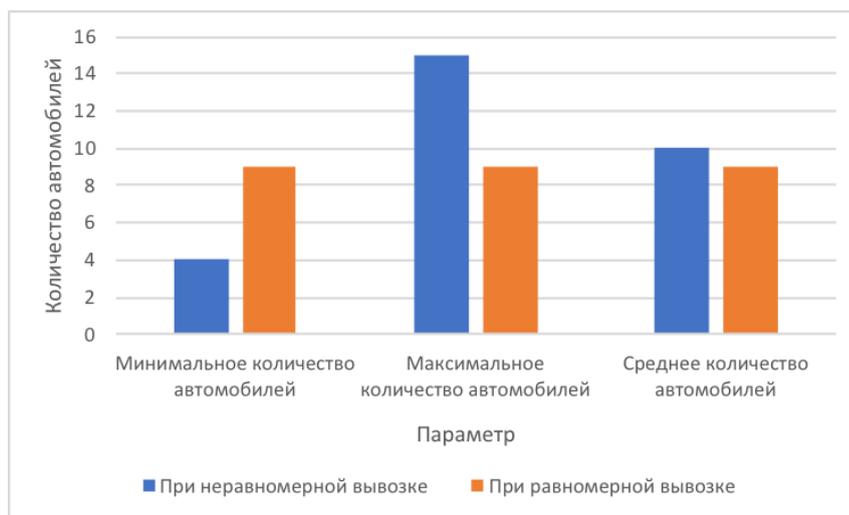
1. Схема 1 (Базовая) — определение необходимого числа лесовозных автопоездов для выполнения ежемесячных объёмов в условиях неравномерной вывозки.
2. Схема 2 — определение необходимого числа лесовозных автопоездов для выполнения условия равномерной вывозки годового объёма древесины, а также при отсутствии ограничений на максимально перевозимый рейсовый объём.
3. Схема 3 — изменение параметров очередей на погрузке древесины на терминале путём изменения количества единиц погрузочной техники.

На выходе были получены такие данные, как количество задействованных автомобилей, параметры очередей в пунктах погрузки, разгрузки и пограничном контрольно-пропускном пункте (размер очереди, среднее время простоя), производительность автомобилей, коэффициент использования. Пример полученных результатов представлен в таблице 1.

Согласно данным таблицы 1, можно сделать вывод о том, что при использовании равномерной вывозки (ежемесячно, в течение года транспортируются равные объёмы древесины), а также при снятии ограничений на перевозимый через границу объём повышается производительность автомобилей и снижается их потребное количество (рисунок 5).

**Таблица 1.** Основные результаты моделирования первой и второй схем вывозки

Параметр	Значения для 1-й схемы (неравномерная вывозка)	Значения для 2-й схемы (равномерная вывозка)	Значения для 2-й схемы (без ограничений на максимально перевозимый объём)
Минимальное количество используемых автомобилей	4	9	6
Максимальное количество используемых автомобилей	15	9	6
Среднее количество используемых автомобилей за год	10	9	6
Коэффициент использования ресурса (лесовозных автопоездов)	0,52	0,51	0,50
Производительность одного автомобиля, куб. м/год	13200,5	14470,1	21705,2



**Рисунок 5.** Задействованное количество автомобилей для разных вариантов вывозки

Результатом сравнения и обработки данных является расчёт себестоимости 1 куб. м древесины для каждой схемы транспортировки. В качестве примера приведём смету затрат (таблица 2) и себестоимость транспортировки 1 кум. м древесины (таблица 3) для первой и второй схем вывозки.

**Таблица 2.** Смета транспортных затрат

Затраты, руб.	Затраты 1-й схемы	Затраты 2-й схемы
Затраты на ТО и Р	6498184	3868884
Затраты на амортизацию	817566,75	486486
Затраты на ТСМ	16489872	11330323
Зарплаты водителей	13552000	8064000
Прочие	373576	237497
Всего	37731198,75	23987190

**Таблица 3.** Себестоимость транспортировки 1 куб. м древесины

Показатель	Сценарий неравномерной	Сценарий равномерной
	вывозки	вывозки
Затраты, руб.	37731198,75	23987190
Объём, куб. м	130231	130231
Затраты, отнесённые к объёму, руб./куб. м	290	184

Сравнение результатов таблицы 4 показало, что затраты на транспортировку при равномерной вывозке древесины на 37 % меньше, чем при неравномерной. То есть вторая схема показывает прирост экономической эффективности по отношению к базовой. Более подробно результаты апробации методики раскрываются в работах [23, 24].

#### 4. Обсуждение и заключение

По результатам выполненной научно-исследовательской работы были сделаны следующие выводы:

1. Разработана методика поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины, которая учитывает максимальное количество факторов, влияющих на эффективность данного процесса, и включает имитационную модель процесса международных перевозок древесины автомобильным транспортом.

2. На базе инструмента имитационного моделирования AnyLogic PLE разработана имитационная модель процесса международных перевозок древесины автомобильным транспортом, основанная на дискретно-событийном подходе и учитывающая такие факторы, как параметры нестационарного потока поступающей на транзитно-перевалочные терминалы древесины, количество и характеристики задействованного складского и подъёмно-

транспортного оборудования, основных транспортных машин (лесовозных автопоездов), пропускную способность и режим работы пограничных контрольно-пропускных пунктов, а также их загруженность, режим работы и характеристики складов потребителей, режим труда и отдыха персонала, простои, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием оборудования, и т. д.

3. С помощью разработанной методики проведено детальное исследование процесса международных перевозок автомобильным транспортом в условиях Северного Приладожья, разработан перечень рекомендаций для повышения его эффективности.

4. Согласно результатам имитационного моделирования, максимально необходимое количество транспортных средств при неравномерной вывозке в течение года превышает число транспортных средств при равномерной вывозке. При этом средняя производительность автомобилей при неравномерной вывозке меньше, чем при равномерной, что говорит о более эффективном использовании производственных мощностей. В целом, при использовании равномерной вывозки можно сократить количество необходимых автомобилей на 30 %, при этом транспортные затраты снизятся на 34 %.

5. Рекомендуется искать возможности обхода или отмены условия, согласно которому максимально перевозимый через российско-финляндскую границу рейсовый объём не должен превышать 24—27 куб. м. Данная мера позволит повысить производительность в 1,3 раза и снизить количество используемых автомобилей на 33 %. В случае невозможности реализации такого сценария рекомендуется создать транзитно-перевалочный склад на стороне импортёра. Данная мера позволит повысить производительность в 1,6 раза и снизить количество используемых автомобилей на 25 %.

6. Рекомендуется искать возможности для использования равномерной вывозки древесины в течение года или месяца. Данная мера позволит избежать лишних транспортных затрат, существенно понизить затраты на транспортировку (до 34 %) и избежать форс-мажорных ситуаций, когда необходимо вывезти большие объёмы древесины в сжатый срок при ограниченном количестве производственных мощностей. Кроме того, удастся избежать ситуаций, в которых подрядчикам необходимо в срочном порядке искать заказчиков, чтобы не допустить простоя производственных мощностей из-за уменьшения объёма заказов от основного заказчика.

В заключение можно сделать вывод о том, что разработанная методика поддержки принятия решений по обоснованию выбора схемы транспортно-технологического процесса международных перевозок древесины может быть использована предприятиями для поддержки принятия решений при планировании экспорта древесины, а впоследствии — для повышения эффективности международных перевозок древесины.

## Список литературы

1. Антонов, А. В. Системный анализ : учебник для вузов / А. В. Антонов. — Москва : Высш. шк., 2004. — 454 с.
2. Аскопов, А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Аскопов. — Москва : Юрайт, 2014. — 389 с.
3. Бражник, А. Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD / А. Н. Бражник. — Санкт-Петербург : Реноме, 2006. — 439 с.
4. Буторин, Н. Н. Транспортная сеть для освоения лесного массива / Н. Н. Буторин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2003. — № 6. — С. 40—45.
5. Вентцель, Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. — Москва : Высш. шк., 2001. — 208 с.
6. Волкова, В. Н. Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — Санкт-Петербург : СПбГТУ, 1997. — 510 с.
7. Гайдес, М. А. Общая теория систем: системы и системный анализ / М. А. Гайдес. — Винница : Глобус-пресс, 2005. — 201 с.
8. Григорьев, М. Н. Логистика. Базовый курс : учебник / М. Н. Григорьев, С. А. Уваров. — Москва : Юрайт, 2011. — 782 с.
9. Григорьев, И. AnyLogic за 3 дня : практическое пособие по имитационному моделированию [Электронный ресурс] / И. Григорьев // AnyLogic. — 2017. — URL: <https://www.anylogic.ru/free-simulation-book-and-modeling-tutorials>.
10. Макарова, Н. В. Информатика : учебник для вузов / Н. В. Макарова, В. Б. Волков. — Санкт-Петербург : Питер, 2015. — 576 с.
11. Оптимизация логистики лесозаготовок / А. П. Соколов, Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сյонёв, Т. Карьялайнен // Resources and Technology. — 2012. — № 9 (2). — С. 117—128.
12. Особенности функциональной логистики лесозаготовок / А. П. Соколов, В. С. Сյонёв, Ю. В. Суханов, А. Селиверстов // Resources and Technology. — 2014. — № 1 (11). — С. 50—65.
13. Соколов, А. П. Логистическая поддержка лесозаготовок / А. П. Соколов, В. К. Катаров, В. С. Сյонёв. — Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2015. — 160 с.
14. Соколов, А. П. Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов / А. П. Соколов, Ю. Ю. Герасимов // ИВУЗ «Лесной журнал». — 2009. — № 3. — С. 78—85.
15. Совершенствование международных автомобильных перевозок древесины / А. П. Соколов, В. А. Шаин, В. С. Сյонёв, Ю. Лаппалайнен // Научный журнал КубГАУ. — 2014. — Т. 102, № 8. — С. 322—333.
16. Стороженко, С. С. Повышение эффективности транспортно-технологического процесса лесопромышленных предприятий на базе логистико-математических моделей : дис. ...

- канд. техн. наук: 05.21.01 / Стороженко Сергей Семенович. — Санкт-Петербург, 2003. — 209 с.
17. Толуев, Ю. И. Имитационное моделирование логистических сетей / Ю. И. Толуев // Логистика и управление цепями поставок. — Москва : Эс-Си-Эм Консалтинг, 2008. — № 2 (25). — С. 53—63.
  18. Толуев, Ю. И. Анализ и моделирование материальных потоков в сетях поставок / Ю. И. Толуев, А. Г. Некрасов, С. И. Морозов // Интегрированная логистика. — 2005. — № 5. — С. 7—14.
  19. Толуев, Ю. И. Имитационное моделирование логистических процессов / Ю. И. Толуев // Имитационное моделирование. Теория и практика : сб. Второй всероссийской научно-практической конференции. — Санкт-Петербург : ФГУП ЦНИИ ТС, 2005. — № 5. — С. 71—76.
  20. Толуев, Ю. И. Моделирование процессов перемещения и накопления материальных объектов в логистических сетях / Ю. И. Толуев, Т. П. Замановская // Логистика: Современные тенденции развития. V Международная научно-практическая конференция. 20—21 апреля 2006 г. : тезисы докладов. — Санкт-Петербург : СПбГИЭУ, 2006. — С. 354—359.
  21. Шаин, В. А. Совершенствование международных перевозок древесины / В. А. Шаин, А. П. Соколов // Актуальные проблемы лесного комплекса. — Брянск : Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2014. — № 40. — С. 38—42.
  22. Шаин, В. А. Пути повышения эффективности трансграничного транспорта продукции лесозаготовок / В. А. Шаин, А. П. Соколов // Системы. Методы. Технологии. — Братск : Братский государственный университет, 2016. — № 2 (30). — С. 159—163.
  23. Шаин, В. А. Апробация методики обоснования параметров процессов международных автомобильных перевозок древесины / В. А. Шаин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. — Краснодар : КубГАУ, 2017. — № 07 (131). — URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/96.pdf>, 0,750 у. п. л. — IDA [article ID]: 1311707096. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-131-096>.
  24. Шаин, В. А. Повышение эффективности международных перевозок древесины : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Шаин Всеволод Алексеевич. — Петрозаводск, 2017. — 158 с.
  25. Яшин, А. В. Оптимизация транспортно-технологического процесса лесозаготовительного предприятия : дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Яшин Алексей Владимирович. — Санкт-Петербург, 2009. — 204 с.
  26. RuttOpt — A Decision Support System for Routing of Logging Trucks / G. Andersson, P. Flisberg, B. Liden and M. Ryonqvist // Scandinavian Working Papers in Economics, NHH Discussion Paper. — 2007. — Vol. 16.

27. *Beaudoin, D.* Tactical supply chain planning in the forest products industry through optimization and scenario-based analysis / D. Beaudoin, L. LeBel and J.-M. Frayret // *Canadian Journal of Forest Research*. — 2007. — Vol. 37 (1). — P. 128—140.
28. *Bredstrom, D.* Annual planning of harvesting resources in the forest industry / D. Bredstrom, P. Jonsson and M. Ronnqvist // *International transactions in operational research*. — 2010. — Vol. 17. — P. 155—177.
29. *Forsberg, M.* FlowOpt — a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry / M. Forsberg, M. Frisk and M. Rönqvist // *International Journal of Forest Engineering*. — 2005. — Vol. 16 (2). — P. 101—114.
30. *Nurminen, T.* Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland / T. Nurminen, J. Heinonen // *Silva Fennica*. — 2007. — Vol. 41 (3). — P. 471—487.
31. Ways to improve the efficiency of forest cross-border transportation / A. P. Sokolov, V. A. Shain, V. S. Syuney, T. B. Stankevich // 17<sup>th</sup> International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. — Albena, Bulgaria, 2017. — Vol. 17 (53). — P. 1041—1047.

## References

1. *Antonov, A. V.* Sistemnyiy analiz: uchebnik dlya vuzov / A. V. Antonov. — Moscow : Vyssh. shk., 2004. — 454 p.
2. *Askopov, A. S.* Imitatsionnoe modelirovanie: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata / A. S. Askopov. — Moscow : Yurayt, 2014. — 389 p.
3. *Brazhnik, A. N.* Imitatsionnoe modelirovanie: vozmozhnosti GPSS WORLD / A. N. Brazhnik. — Sankt-Peterburg : Renome, 2006. — 439 p.
4. *Butorin, N. N.* Transportnaya set dlya osvoeniya lesnogo massiva / N. N. Butorin // *Izvestiya vysshih uchebnyih zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. — 2003. — No 6. — P. 40—45.
5. *Venttsel, E. S.* Issledovanie operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya / E. S. Venttsel. — Moscow : Vyssh. shk., 2001. — 208 p.
6. *Volkova, V. N.* Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza / V. N. Volkova, A. A. Denisov. — Sankt-Peterburg : SPbGTU, 1997. — 510 p.
7. *Gaydes, M. A.* Obschaya teoriya sistem: sistemy i sistemnyiy analiz / M. A. Gaydes. — Vinnitsa : Globus-press, 2005. — 201 p.
8. *Grigorev, M. N.* Logistika. Bazovyy kurs: uchebnik / M. N. Grigorev, S. A. Uvarov. — Moscow : Yurayt, 2011. — 782 p.
9. *Grigorev, I.* AnyLogic za 3 dnya: prakticheskoe posobie po imitatsionnomu modelirovaniyu [Elektronnyiy resurs] / I. Grigorev // AnyLogic. — 2017. — URL: <https://www.anylogic.ru/free-simulation-book-and-modeling-tutorials>.
10. *Makarova, N. V.* Informatika: uchebnik dlya vuzov / N. V. Makarova, V. B. Volkov. — Sankt-Peterburg : Piter, 2015. — 576 p.

11. Optimizatsiya logistiki lesozagotovok / A. P. Sokolov, Yu. Yu. Gerasimov, V. S. SyunYov, T. Karyalaynen // Resources and Technology. — 2012. — No 9 (2). — P. 117—128.
12. Osobennosti funktsionalnoy logistiki lesozagotovok / A. P. Sokolov, V. S. SyunYov, Yu. V. Suhanov, A. Seliverstov // Resources and Technology. — 2014. — No 1 (11). — P. 50—65.
13. Sokolov, A. P. Logisticheskaya podderzhka lesozagotovok / A. P. Sokolov, V. K. Katarov, V. S. SyunYov. — Petrozavodsk : Izdatelstvo PetrGU, 2015. — 160 p.
14. Sokolov, A. P. Geoinformatsionnaya sistema dlya resheniya optimizatsionnoy zadachi transportnoy logistiki kruglyih lesomaterialov / A. P. Sokolov, Yu. Yu. Gerasimov // IVUZ «Lesnoy zhurnal». — 2009. — No 3. — P. 78—85.
15. Sovershenstvovanie mezhdunarodnykh avtomobilnykh perevozok drevesiny / A. P. Sokolov, V. A. Shain, V. S. SyunYov, Yu. Lappalaynen // Nauchnyy zhurnal KubGAU. — 2014. — T. 102, No 8. — P. 322—333.
16. Storozhenko, S. S. Povyshenie effektivnosti transportno- tehnologicheskogo protsessa lesopromyshlennykh predpriyatiy na baze logistiko- matematicheskikh modeley: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tehnikeskikh nauk: 05.21.01 / Storozhenko Sergey Semenovich. — Sankt-Peterburg, 2003. — 209 p.
17. Toluev, Yu. I. Imitatsionnoe modelirovanie logisticheskikh setey / Yu. I. Toluev // Logistika i upravlenie tsepyami postavok. — Moscow : Es-Si-Em Konsalting. — 2008. — No 2 (25). — P. 53—63.
18. Toluev, Yu. I. Analiz i modelirovanie materialnykh potokov v setyah postavok / Yu. I. Toluev, A. G. Nekrasov, S. I. Morozov // Integrirovannaya logistika. — 2005. — No 5. — P. 7—14.
19. Toluev, Yu. I. Imitatsionnoe modelirovanie logisticheskikh protsessov / Yu. I. Toluev // Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika : sb. Vtoroy vs Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. — Sankt-Peterburg : FGUP TsNII TS. — 2005. — No 5. — P. 71—76.
20. Toluev, Yu. I. Modelirovanie protsessov peremescheniya i nakopleniya materialnykh ob'ektov v logisticheskikh setyah / Yu. I. Toluev, T. P. Zamanovskaya // Logistika: Sovremennyye tendentsii razvitiya. V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. 20—21 aprelya 2006 g. : tez. dokl. — Sankt-Peterburg : SPbGIEU. — 2006. — P. 354—359.
21. Shain, V. A. Sovershenstvovanie mezhdunarodnykh perevozok drevesiny / V. A. Shain, A. P. Sokolov // Aktualnyye problemy lesnogo kompleksa. — Bryansk : Bryanskaya gosudarstvennaya inzhenerno-tehnologicheskaya akademiya, 2014. — No 40. — P. 38—42.
22. Shain, V. A. Puti povysheniya effektivnosti transgranichnogo transporta produktsii lesozagotovok / V. A. Shain, A. P. Sokolov // Sistemy. Metody. Tehnologii. — Bratsk : Bratskiy gosudarstvennyy universitet, 2016. — No 2 (30). — P. 159—163.
23. Shain, V. A. Aprobatsiya metodiki obosnovaniya parametrov protsessov mezhdunarodnykh avtomobilnykh perevozok drevesiny / V. A. Shain // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal

- KubGAU) [Elektronnyiy resurs]. — Krasnodar : KubGAU, 2017. — No 07 (131). — URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/96.pdf>, 0,750 u. p. l. — IDA [article ID]: 1311707096. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-131-096>.
24. *Shain, V. A.* Povyshenie effektivnosti mezhdunarodnyih perevozok drevesiny : dis. ... kand. tehn. nauk: 05.21.01 / Shain Vsevolod Alekseevich. — Petrozavodsk, 2017. — 158 p.
25. *Yashin, A. V.* Optimizatsiya transportno-tehnologicheskogo protsessa lesozagotovitel'nogo predpriyatiya : dis. ... kand. tehn. nauk: 05.21.01 / Yashin Aleksey Vladimirovich. — Sankt-Peterburg, 2009. — 204 p.
26. *RuttOpt* — A Decision Support System for Routing of Logging Trucks / G. Andersson, P. Flisberg, B. Liden and M. Ryonqvist // Scandinavian Working Papers in Economics, NHH Discussion Paper. — 2007. — Vol. 16.
27. *Beaudoin, D.* Tactical supply chain planning in the forest products industry through optimization and scenario-based analysis / D. Beaudoin, L. LeBel and J.-M. Frayret // Canadian Journal of Forest Research. — 2007. — Vol. 37 (1). — P. 128—140.
28. *Bredstrom, D.* Annual planning of harvesting resources in the forest industry /D. Bredstrom, P. Jonsson and M. Ronqvist // International transactions in operational research. — 2010. — Vol. 17. — P. 155—177.
29. *Forsberg, M.* FlowOpt — a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry / M. Forsberg, M. Frisk and M. Rönqvist // International Journal of Forest Engineering. — 2005. — Vol. 16 (2). — P. 101—114.
30. *Nurminen, T.* Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland / T. Nurminen, J. Heinonen // Silva Fennica. — 2007. — Vol. 41 (3). — P. 471—487.
31. Ways to improve the efficiency of forest cross-border transportation / A. P. Sokolov, V. A. Shain, V. S. Syunev, T. B. Stankevich // 17<sup>th</sup> International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. — Albena, Bulgaria, 2017. — Vol. 17 (53). — P. 1041—1047.