

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ СРОЧНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ

Lacks of existing models of transport technological process of a wood complex are designated. Process of functioning of wood transport system is described. The mathematical model optimizing expenses for transportation of wood raw material in view of work of subsystems «wood transport unit» is formulated.

The technique is developed, allowing to solve a task of operational planning of delivery of wood in view of temporary interests of the consumer. The generalized algorithm is presented, allowing realizing an offered technique. Modeling and planning of an industrial situation is offered on two situations: in case of when there is an objective requirement for transportation and when the wood procuring enterprise works to order.

**Введение.** Любое современное предприятие лесной отрасли Республики Беларусь можно отнести к классу больших или сложных систем. Это связано в первую очередь с разветвленной структурой производства, с необходимостью выполнения множества различных функций и работ.

Во временном отношении объемы выполняемых работ не являются постоянными. Так, например, интенсивность объемов лесозаготовок и вывозки древесины меняется в течение суток, месяца и года, причем эти изменения происходят как планово, так и случайно.

Ввиду этого необходимо комплексно оценивать производственную ситуацию на предприятиях для принятия и поддержки оперативных управлеченческих решений. Недостаточно продуманное решение, основанное на личном опыте ответственного лица либо принятное им «интуитивно», без предварительных оценок последствий может привести к неоправданным экономическим издержкам предприятия. Вторым основным негативным вариантом принятия неверных управлеченческих решений может являться приостановление или полная остановка производительной работы лесотранспортной системы в целом либо ее элементов.

В связи с этим для выбора стратегии работы лесотранспортной системы и поддержки принимаемых решений необходимо создание эффективной, простой в использовании и надежной методики управления и планирования оперативной работой указанной системы с количественной оценкой эффективности последствий. Такая комплексная методика должна учитывать не только интересы конкретного предприятия, но и интересы всех заинтересованных звеньев лесотранспортной системы.

**Существующие методы планирования и организации функционирования лесотранспортной системы.** В настоящее время имеется ряд методик по отдельным моделям транспортно-технологического процесса лесного комплекса. Они разработаны такими учеными, как Алябьев В. И. [1], Коваленко Т. В. [2], Меньшиков В. Н. [3], Редькин А. К. [4], Салминен Э. О., Борозна А. А. [5], Стороженко С. С. [6], Шегельман И. Р. [7] и др. В основном разработаны модели перевозок без учета лесотранспортных терминалов, однотипные модели лесных грузопотоков, модели хранения и календарного планирования, модели первичного лесотранспорта и др.

Анализ существующих методик позволил выявить следующие их недостатки.

1. Существующие модели не позволяют осуществлять комплексное планирование процессов функционирования лесотранспортной системы на локальном уровне (микрологистические системы), так как основаны на решении точечных задач на оптимизацию (транспортная задача и т.д.).

2. Разработанные методики не позволяют проводить логистическое управление и организацию функционирования лесотранспортной системой с учетом изменяющихся во времени потребностей конкретных потребителей.

3. Предлагаемые методики не предполагают для использования критерий эффективности управлеченческих решений при оперативном планировании («на лету») функционирования системы.

**Функционирование лесотранспортной системы.** Для получения объекта исследования, в нашем случае – лесотранспортной системы (подсистемы), его нужно выделить из общей системы более высокого уровня (рис. 1).



Рис. 1. Определение лесотранспортной системы

Таким образом, лесотранспортная система состоит из следующих подсистем: «вывозка древесины» и «лесотранспортный узел» (ЛУ) [8]. Функционирование ее происходит следующим образом. Заготовленные в системе «лесосечные работы» объемы древесного сырья поступают в подсистему «лесотранспортный узел» посредством процессов трелевки и (или) подвозки. В подсистеме «лесотранспортный узел» происходит концентрация (накопление) запасов древесного сырья, а также осуществляется его вертикальное перемещение (погрузка). Из подсистемы «лесотранспортный узел» древесное сырье попадает в подсистему «вывозка древесины», основной целью функционирования которой является горизонтальное перемещение (перевозка). Древесное сырье из подсистемы «вывозка древесины» переходит в подсистему «лесотранспортный узел», где происходит вертикальное перемещение (разгрузка). Причем подсистема «лесотранспортный узел» может быть включена в систему «потребитель» или находиться обособленно (в этом случае древесное сырье поступает в систему «потребитель» подвозкой).

Как видно, в процессе функционирования лесотранспортной системы происходит вертикальное и горизонтальное перемещение древесины, что значительным образом затрудняет процесс формализации и математического моделирования системы. Более того, в подсистемах «лесотранспортный узел» для вертикального перемещения древесного сырья могут использоваться различные типы погрузочно-разгрузочных средств, что затрудняет однозначность в определении процесса функционирования лесотранспортной системы. Ввиду последнего обстоятельства нами были разработаны основные типовые схемы взаимодействия тягово-прицепного состава в подсистемах «лесотранспортный узел» [8].

**Математическая модель функционирования лесотранспортной системы.** Рассмотрим основные характеристики лесотранспортных узлов на всех уровнях в процессе их производственного функционирования. Лесотранспортные узлы уровня «лесосека» можно охарактеризовать следующими показателями:

1.  $Q_i^j = \{Q^1, Q^2, \dots, Q^j\}$  – объемы древесного сырья в зависимости от их вида на каждом из лесотранспортных узлов уровня «лесосека».

2.  $\sum_{i=1}^i Q^j = \left\{ \sum_{i=1}^i Q^1, \sum_{i=1}^i Q^2, \dots, \sum_{i=1}^i Q^j \right\}$  – объемы

древесного сырья в зависимости от их вида на всех лесотранспортных узлах уровня «лесосека».

3.  $j$  – количество видов древесного сырья.

4.  $i$  – количество ЛУ уровня лесосека.

Лесотранспортные узлы уровня «лесной терминал» можно обозначить следующими показателями:

1.  $V_n^m = \{V^1, V^2, \dots, V^m\}$  – объемы древесного сырья в зависимости от их вида на каждом из лесотранспортных узлов уровня «лесной терминал».

2.  $\sum_{n=1}^n V^m = \left\{ \sum_{n=1}^n V^1, \sum_{n=1}^n V^2, \dots, \sum_{n=1}^n V^m \right\}$  – объемы

древесного сырья в зависимости от их вида на всех лесотранспортных узлах уровня «лесной терминал».

3.  $m$  – количество видов древесного сырья.

4.  $n$  – количество ЛУ уровня «лесной терминал».

Лесотранспортные узлы уровня «потребитель» можно обозначить следующими показателями:

1.  $P_k^l = \{P^1, P^2, \dots, P^l\}$  – объемы потребностей в древесном сырье в зависимости от их вида на каждом из лесотранспортных узлов уровня «потребитель».

2.  $\sum_{k=1}^k P^l = \left\{ \sum_{k=1}^k P^1, \sum_{k=1}^k P^2, \dots, \sum_{k=1}^k P^l \right\}$  – объемы

потребностей в древесном сырье в зависимости от их вида на всех лесотранспортных узлах уровня «потребитель».

3.  $l$  – количество видов древесного сырья.

4.  $k$  – количество ЛУ уровня «потребитель».

5.  $T_i$  – нормативный интервал доставки, во время которого имеется объективная потребность в заявленных объемах древесного сырья.

Таким образом, сформулировать задачу можно следующим образом: необходимо организовать доставку древесного сырья потребителям с полным удовлетворением заявленных потребностей, с минимальными издержками и в установленные нормативные интервалы доставки. Математически это можно сформулировать следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j C_k^l \cdot X_k^l + \sum_{n=1}^n \sum_{m=1}^m C_n^m \cdot X_n^m \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_k^l$  – удельные затраты на перевозку 1 м<sup>3</sup> древесины  $j$ -го вида с лесотранспортного узла «уровня лесосека», работающего по  $i$ -й схеме;  $X_k^l$  – объемы древесины  $j$ -го вида, находящиеся в лесотранспортном узле уровня «лесосека», работающего по  $i$ -й схеме;  $C_n^m$  – удельные затраты на перевозку 1 м<sup>3</sup> древесины  $m$ -го вида с лесотранспортного узла уровня «лесной терминал», работающего по  $n$ -й схеме;  $X_n^m$  – объемы древесины  $m$ -го вида, находящиеся в лесотранспортном узле уровня «терминал», работающего по  $n$ -й схеме.

В качестве критерия первоочередности вывозки в работе [9] предлагается использовать функцию срочности перевозки древесины (2),

которая позволяет количественно оценивать приоритет (важность) каждого заказа.

$$W(t) = \frac{Q(t) \cdot (C + C_{\text{нд}} + \Delta C)}{T_{\Delta} - t} + (Q_3 - Q_{\Delta}) \cdot n \cdot \mathbb{W}_{\Delta}, \quad (2)$$

где  $Q(t)$  – объем древесного сырья для перевозки, м<sup>3</sup>;  $C$  – себестоимость 1 м<sup>3</sup>, руб.;  $C_{\text{нд}}$  – цена 1 м<sup>3</sup> древесного сырья франко-пункт отгрузки, руб.;  $\Delta C$  – увеличение потерь от снижения качества древесного сырья, руб.;  $T_{\Delta} - t$  – остаток времени до истечения нормативного интервала доставки;  $Q_3 - Q_{\Delta}$  – разность между потребностью в древесине и доставленным объемом, м<sup>3</sup>;  $n$  – число просроченных дней (часов);  $\mathbb{W}_{\Delta}$  – штраф за 1 м<sup>3</sup> недоставленной древесины в день (час).

На основании указанных предпосылок разработана методика, позволяющая решать задачу оперативного планирования вывозки древесины с учетом временных интересов потребителя. Причем в качестве потребителя могут выступать как конкретные юридические лица, так и структурные подразделения предприятия, заготавливающего древесное сырье. Для реализации предлагаемой методики разработан алгоритм, обобщенная схема которого представлена на рис. 2, позволяющий на практике моделировать производственную ситуацию и в оперативном режиме принимать управленческие решения.

Рассмотрим структуру представленной блок-схемы более подробно.

#### **Блок 1. Введение исходных данных.**

Вводятся данные о новых транспортных средствах, принятые на баланс предприятия, данные по новым маршрутам, данные по новым потребителям, сроки выполнения заявок, изменения объемов потребностей, тарифы, стоимости перевозки 1 м<sup>3</sup>, данные по объемам древесного сырья на лесотранспортных узлах и т. д.

#### **Блок 2. База данных предприятия.**

Находятся данные по предприятию: технические характеристики транспортных средств, используемые для вывозки древесного сырья, данные о лесотранспортных узлах – количество, расстояния, характеристики транспортно-технологических путей, дорог, их процентное соотношение для каждого маршрута, данные о долгосрочных потребителях и лесотранспортных узлах второго и третьего уровней и т. д.

#### **Блок 3. Пакет заказов.**

Формирование пакета потребностей на текущую дату. При наличии заказов на текущую дату формируется пакет заказов и осуществляется переход к блоку 2. В случае, когда потребителям древесное сырье условно не требуется (заказов на текущую дату не имеется, пополнение запасов на лесотранспортных узлах 2-го и 3-го уровней предприятия не требуется), осуществляется переход к блоку 23.

#### **Блок 4. Расчет $T_{ni}$ .**

Рассчитываются нормативные интервалы доставки для каждого потребителя [9].

#### **Блок 5. Расчет ФСПД.**

Строится функция срочности перевозки древесины для каждого потребителя, определяется фактическое время доставки древесины для каждого потребителя. Ранжирование потребностей по убыванию [9].

#### **Блок 6. Выделение потребностей.**

Определение равноценных потребностей, формирование первоначального плана доставки. Данный план подразумевает, какое количество древесного сырья необходимо конкретному потребителю в пределах нормативного интервала доставки.

#### **Блок 7. Решение РЗ.**

Решение распределительной задачи для первоочередного плана доставки с обеспечением полного удовлетворения объема потребности каждого потребителя. В случае нехватки для удовлетворения потребности объемов древесного сырья заказ ожидает заготовки необходимых объемов.

#### **Блок 8. Определение схемы доставки.**

Определяются типы реляций для удовлетворения каждой заявки («один к одному», «один ко многим» или «многие ко многим»). Выбирается схема доставки (маятниковая, кольцевая и т. д.).

#### **Блок 9. Выбор ТС.**

В данном блоке решается задача о выборе транспортного средства для выполнения каждой заявки при условии, что удовлетворение заявленных объемов должно происходить в пределах нормативного интервала доставки. Решается задача оптимизации, математическая модель которой представлена в виде (1).

#### **Блок 10. Все ТС задействованы.**

Определяются незадействованные транспортные средства. При наличии свободных транспортных средств происходит переход к блоку 5. Если все транспортные средства задействованы, то происходит переход к блоку 11.

#### **Блок 11. Проверка заявок.**

В данном блоке происходит проверка удовлетворения потребностей по объемам. При наличии неудовлетворенных потребностей происходит переход к блоку 3.

#### **Блок 12. Принятие решения.**

При появлении неудовлетворенных потребностей принимается решение о возможностях удовлетворения заявки, проводится корректировка выбора транспортных средств (блок 9).

#### **Блок 13. Моделирование доставки.**

Под моделированием доставки подразумевается моделирование времени цикла доставки: время нулевого пробега (холостого) до места погрузки, время погрузки, время разгрузки, время, затраченное на оформление груза и время непроизводственных простое. Определяется конечное фактическое время доставки по каждому потребителю.

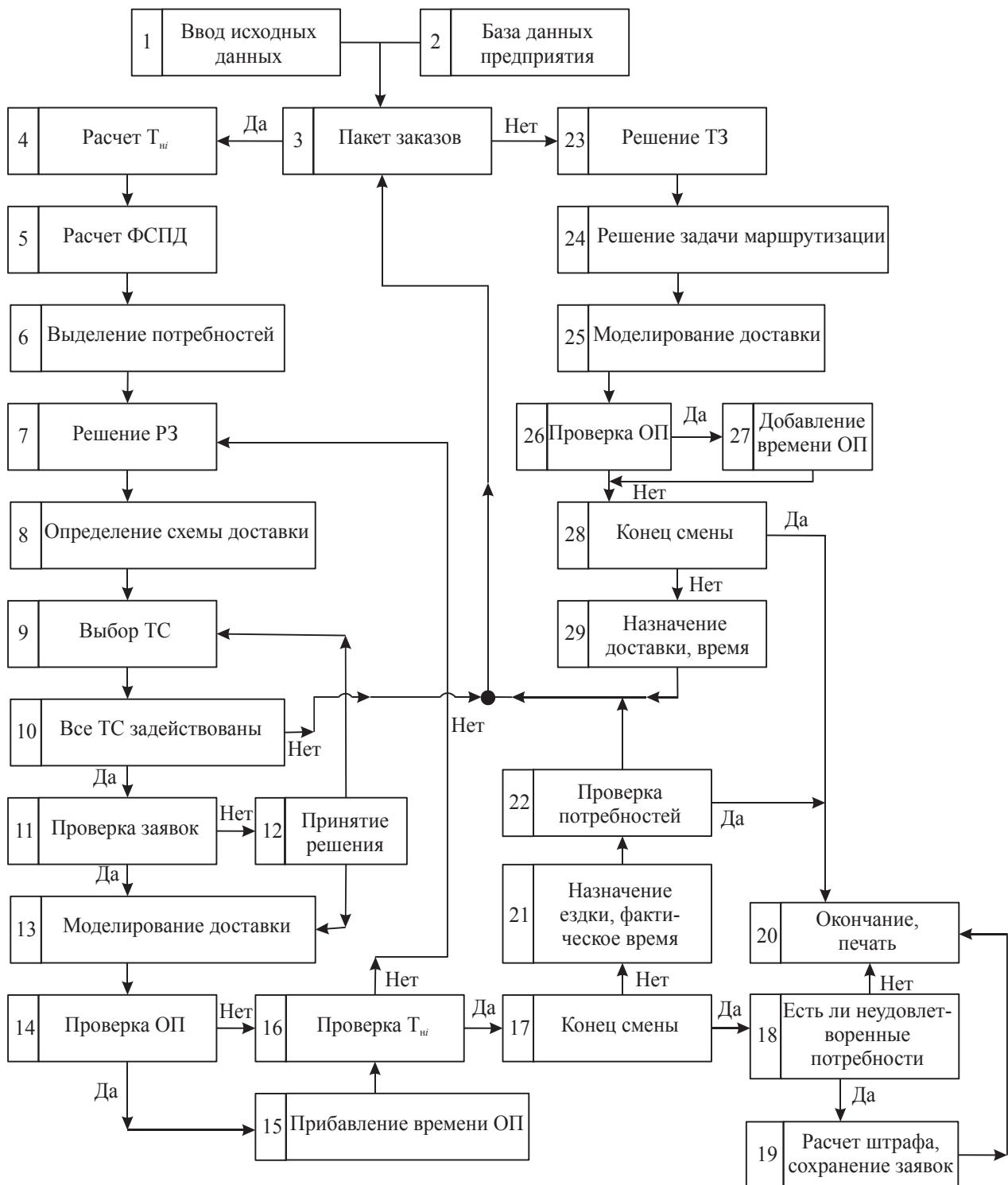


Рис. 2. Обобщенная блок-схема

#### Блок 14. Проверка ОП.

По смоделированному в блоке 13 времени проверяется признак начала обеда. Если условие обеденного перерыва не выполняется, то происходит переход к блоку 16. При попадании смоделированного времени во время обеденного перерыва происходит переход в блок 15.

#### Блок 15. Прибавление времени ОП.

В данном блоке происходит увеличение смоделированного в блоке 13 времени на время обеденного перерыва.

#### Блок 16. Проверка T<sub>hi</sub>.

По всем сформированным заявкам и полученному времени проверяется выполнение нормативных интервалов доставки. В случае невыполнения нормативного интервала доставки по заявленным потребностям, для этих потребностей (если возможно) происходит корректировка обеспечения заявленных объемов в блоке 7. При удовлетворении всех нормативных интервалов доставки происходит переход к блоку 17.

### **Блок 17. Конец смены.**

При наличии признака окончания смены происходит переход к блоку 18, иначе – к блоку 21.

### **Блок 18. Есть ли неудовлетворенные потребности.**

При наличии неудовлетворенных потребностей происходит переход к блоку 19.

### **Блок 19. Расчет штрафа, сохранение заявок.**

Рассчитываются штрафы по неудовлетворенным потребностям, эти потребности сохраняются на следующую смену.

### **Блок 20. Окончание, печать.**

Происходит окончание расчета, печать плана перевозок.

### **Блок 21. Назначение ездки, фактическое время.**

Назначаются планы доставки для удовлетворения выделенных потребностей. Определяется конкретное время доставки каждому потребителю. Составляется расписание движения для задействованного тягово-прицепного состава.

### **Блок 22. Проверка потребностей.**

Проверяются определенные в блоке 3 заказы. При удовлетворении всех заявленных потребностей происходит переход к блоку 20. При наличии неудовлетворенных заказов происходит переход к блоку 3.

### **Блок 23. Решение ТЗ.**

При отсутствии объективной потребности в древесном сырье (определяется в блоке 3 при формировании пакета заказов) для формирования запасов и вывозки древесины с лесосек необходимо решить транспортную задачу по формированию грузопотоков на имеющиеся на предприятии лесотранспортные узлы 3-го уровня.

### **Блок 24. Решение задачи маршрутизации.**

Происходит определение типов реляций, схемы доставки, решается задача маршрутизации перевозок с целью уменьшения пробега.

### **Блок 25. Моделирование доставки.**

По полученным в блоке 24 маршрутам доставки моделируется процесс доставки древесного сырья (аналогично блоку 13).

### **Блок 26. Проверка ОП.**

По смоделированному в блоке 25 времени проверяется признак начала обеда. Если условие обеденного перерыва не выполняется, то происходит переход к блоку 28. При попадании смоделированного времени во время обеденного перерыва происходит переход в блок 27.

### **Блок 27. Добавление времени ОП.**

В данном блоке происходит увеличение смоделированного в блоке 13 времени на время обеденного перерыва.

### **Блок 29. Назначение доставки, время.**

Назначаются планы доставки для удовлетворения выделенных потребностей. Определяется

конкретное время доставки каждому потребителю. Составляется расписание движения для задействованного тягово-прицепного состава.

**Выводы.** Таким образом, проведенный анализ показывает, что существующие методики организации процесса функционирования лесотранспортной системы не в полной мере охватывают проблемные зоны предприятий лесной отрасли. Исходя из этого, предлагаемая математическая модель, основанная на определении функции срочности перевозки древесины, и разработанная на основании этой модели методика направлены на решение более широкого круга производственных задач. Разработанный алгоритм позволяет моделировать процессы функционирования лесотранспортной системы для любого предприятия, занимающегося транспортировкой древесного сырья.

### **Литература**

1. Алябьев, В. И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. – М.: Лесная пром-сть, 1977. – 232 с.
2. Коваленко, Т. В. Рациональная организация лесных грузопотоков при освоении годового лесосечного фонда лесозаготовительного предприятия: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Т. В. Коваленко. – СПб., – 2005. – 204 л.
3. Меньшиков, А. М. Технологический анализ и моделирование процессов лесозаготовок методами статистической динамики: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / А. М. Меньшиков. – Архангельск, 2007. – 180 л.
4. Редькин, А. К. Применение теории массового обслуживания на лесозаготовках. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 152 с.
5. Салминен, Э. О. Лесопромышленная логистика: учеб. пособие / Э. О. Салминен, А. А. Борзона, Н. А. Тюрин. – СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. – 264 с.
6. Стороженко, С. С. Повышение эффективности транспортно-технологического процесса лесопромышленных предприятий на базе логистико-математических моделей: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / С. С. Стороженко. – СПб., 2003. – 144 л.
7. Шегельман, И. Р. Вывозка лес автопоездами. Техника. Технология. Организация: учеб. пособие / И. Р. Шегельман [и др.]; под ред. И. Р. Шегельмана. – СПб.: ПРОФИКС, 2008. – 304 с.
8. Короленя, Р. О. Анализ функционирования лесотранспортных узлов / Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 70–74.
9. Насковец, М. Т. Обеспечение своевременной доставки древесины потребителям / М. Т. Насковец, Р. О. Короленя // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 61–64.