

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Братск, Российская Федерация; e-mail: as17vl@list.ru.

*Гарус Иван Александрович* – ассистент кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация; e-mail: ivan-garus@yandex.ru.

### Information about authors

*Runova Elena Mikhailovna* – Professor of Department of reproduction and processing of forest resources, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bratsk state University», DSc in Agricultural, Professor, Bratsk, Russian Federation; e-mail: runova0710@mail.ru.

*Grebenyuk Andrey Leonidovich* – Associate Professor of the Department of reproduction and processing of forest resources, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bratsk state University», PhD in Agricultural, Associate Professor, Bratsk, Russian Federation; e-mail: as17vl@list.ru.

*Garus Ivan Aleksandrovich* – assistant of Department of reproduction and processing of forest resources, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bratsk state University», Bratsk, Russian Federation; e-mail: ivan-garus@yandex.ru.

DOI: 10.12737/19961

УДК 656\*4

### УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

доктор технических наук, профессор **С. И. Сушков**<sup>1</sup>

кандидат технических наук **Ю. Н. Пильник**<sup>2</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Российская Федерация

Слабо освещенными в литературе по специальностям лесного комплекса являются вопросы управления многоуровневыми транспортно-производственными системами. Основные фазы лесопромышленного производства, их транспортно-технологические потоки (сетевое взаимодействие), число и характер этих процессов, очередность и транспортные средства выполнения, а также виды используемого в каждом случае сырья и получаемой продукции остаются сложной фундаментальной задачей, решение которой невозможно без совершенствования методов, моделей и алгоритмов для решения задач управления в многоуровневых транспортно-технологических сетевых системах. Исходной предпосылкой настоящих исследований является необходимость укрепления взаимосвязи процессов научного анализа, прогнозирования, перспективного и текущего планирования перевозок, соединение их в едином процессе автоматизированной технологии планирования в лесозаготовительной отрасли. Выбор перечисленных направлений обусловлен тем, что транспорт – сложная техническая система, тесно взаимодействующая со всеми отраслями промышленного производства по прямым и обратным связям. Двойственный характер этих связей проявляется в структуре и объемах производимой транспортом продукции и используемых им ресурсов. Анализ внешних связей транспорта с другими отраслями народного хозяйства, совершенствование на этой основе стратегии его развития и механизма функционирования – необходимое условие повышения эффективности работы транспорта. Выбранные направления исследования отражают в первую очередь этот аспект анализа развития транспорта. Рассмотрение транспорта как одной из главных составляющих производственного процесса и анализ взаимосвязей лесопромышленной отрасли с другими отраслями производства базируются на изучении пропорций между объемами и структурой заготавливаемой лесопродукции и продукции всех других отраслей. Анализ в этой части предлагается проводить на основе математических моделей, в частности для анализа

количественных взаимосвязей процесса производства, оценки влияния различных факторов на динамику показателей развития экономики, анализа перспектив их развития.

**Ключевые слова:** система, транспорт, лесоматериалы, потоки, структура, перспективное планирование, моделирование, алгоритм, метод, производство, технологическая операция, оптимизация, управление

## UNIVERSAL MATHEMATICAL MODEL OF NETWORK PLANNING TRANSPORT AND PROCESS STREAMS OF TIMBER

DSc in Engineering, Professor **S. I. Sushkov**<sup>1</sup>

PhD in Engineering **Yu. N. Pilnik**<sup>2</sup>

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

2 – Federal State Budget Education Institution of Higher Professional Education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation

### Abstract

Poorly covered in the literature on specialties of the forest complex are the issues of multi-level management of transportation and production systems. The main phases of timber production, transport and process streams (connectivity), the number and nature of these processes, sequence and implementation of vehicle and kinds used in each case, raw materials and derived products remains a difficult fundamental problem whose solution is impossible without the improvement of methods, models and algorithms for solving problems of governance in multi-level transport network technology systems. The underlying assumption of these studies is the need to strengthen the connections between scientific analysis, forecasting, perspective and current planning of transportation, combining them into a single process automated planning technologies for the forest industry. The choice of these directions is due to the fact that transport is a complex technical system, interacting closely with all sectors of industrial production in the forward and reverse links. The dual nature of these relations is manifested in the structure and volume transport of the products and the resources. The analysis of the external linkages of transport with other sectors of the economy, improvement on this basis of strategy of its development and functioning is a necessary condition to improve the efficiency of transport. Selected areas of study reflect primarily this aspect of the analysis of the development of transport. Consideration of transport as one of the main components of the production process and the analysis of the linkages of forestry sector with other sectors of production are based on the study of the proportions between the volumes and the structure of harvested timber and the products of all other industries. The analysis in this part of the proposed conduct on the basis of mathematical models, in particular, for the analysis of quantitative relationships of the production process, assess the impact of various factors on the dynamics of economic development, to analyze the prospects of their development.

**Keywords:** system, transportation, timber, streams, structure, forward planning, modeling, algorithm, method, production, process operation, optimization, management.

В последнее время математическое моделирование является одним из важнейших методов изучения и анализа эффективности транспортно-технологических систем. Математическое моделирование – это один из эффективных методов описания сложных транспортных систем и процессов. Оно призвано помочь руководителям различного ранга в выработке, обосновании и принятии эффективных, качественных управленческих решений в лесном комплексе [1]. Это должно повысить надежность функционирования производственно-

экономических систем (рис. 1).

Для повышения качества принятия управленческих решений необходимо расчленение на составные части сложных целей лесопромышленных предприятий. Для этого применяют аналитико-иерархический подход, который базируется на обработке порядковой информации, поступающей на лесопромышленное предприятие. Данная информация определяет альтернативные цели при стратегическом управлении транспортными потоками, которые представляют собой иерархические системы [2].



Рис. 1. Схема комплексного подхода в стратегическом управлении транспортными потоками лесоматериалов

С ростом числа критериев, учитываемых в стратегических планах, необходимо следить, чтобы задачи разбивались на пары более частных задач на порядковом уровне изменений (декомпозиции) [6].

По степени влияния друг на друга цели могут быть содействующими, конфликтными и нейтральными.

Они подразделяются на:

- особо приоритетные;
- приоритетные, необходимые для достижения приоритета.

Группировка целей по критерию структуры лесопромышленного предприятия позволяет определить цели входящих технологических потоков.

Для этого разрабатывается иерархическая математическая модель (рис. 2). Посредством дерева целей описывается их иерархия.

Организационная структура многоуровневой транспортно-производственной системы должна отражать ее стратегический приоритет и обеспечивать реализацию стратегического выбора сетевого транспортного маршрута [3].

Формируем математическую модель транспортно-технологических потоков в указанных условиях из следующих соображений:

1. Целью деятельности лесопромышленного предприятия является получение максимальной

прибыли. Тогда целевая функция – найти объем выпуска лесоматериалов  $R$ , приносящий максимум прибыли.

2. Технологический процесс лесопромышленного производства описывается функцией  $R = R(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – объем производства лесоматериалов.

3. Лесопромышленное предприятие функционирует в рыночных условиях, т. е. может оказывать влияние на рынок, например монополия, а также рынок оказывает влияние на производство (конкуренция) [7].

Рассмотрим математическую модель транспортного предприятия (участка):

$$\Pi(R) = C \cdot R - Z(R) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$R = D(C_1), Z(R) = R \cdot (B_0 + B_1 \cdot q(R)), \quad (2)$$

$$B_0 = C_m + C_\infty, C_1 = C(1 + \alpha), B_1 = C_\infty \quad (3)$$

где  $\Pi$  – прибыль;

$C$  – цена лесоматериала на верхнем складе(лесосеке);

$C_1$  – отпускная цена;

$Z$  – затраты;

$\alpha$  – доля налога на добавленную стоимость и торговая наценка;

$q$  – переменная часть затрат;

$C_m$  – удельные затраты на покупку лесоматериалов;

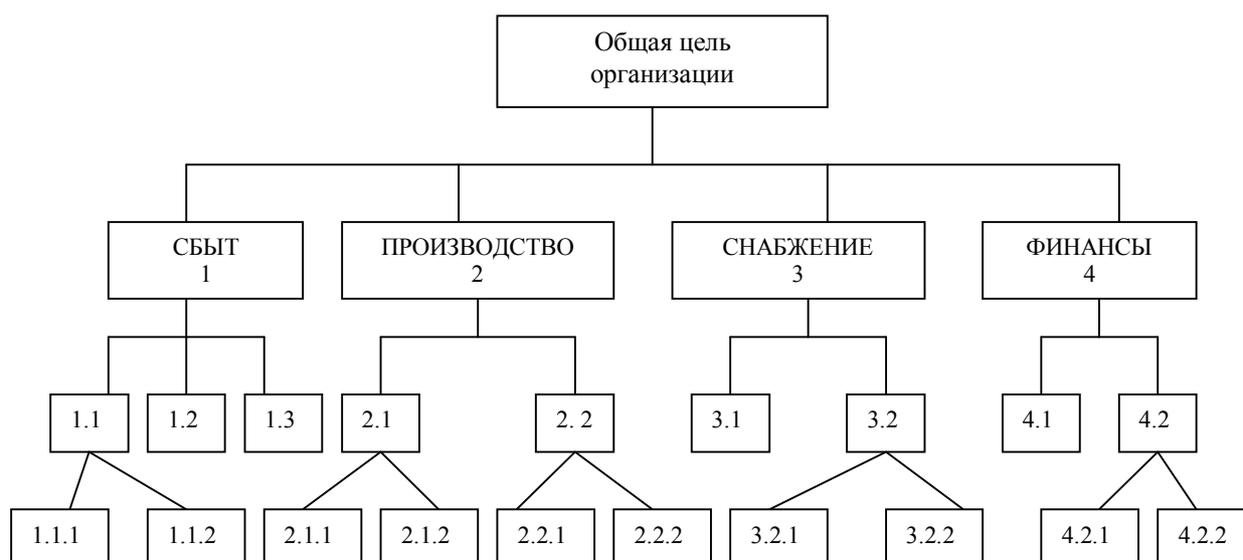


Рис. 2. Дерево целей транспортной организации

$C_{\infty}$  – предельные затраты на покупку лесоматериалов.

Найдем первую производную от целевой функции:

$$\frac{\partial \Pi(R)}{\partial R} = \Pi \frac{\partial Z(R)}{\partial R} = 0. \quad (4)$$

Получим, что  $\Pi \frac{\partial Z(R)}{\partial R}$  – условие получения максимальной прибыли. Отсюда вытекает решение задачи минимизации издержек транспортных операций. Решаются эти задачи совместно [4].

Рассмотрим задачу оптимизации прибыли в условиях монополии и найдем оптимальную равновесную цену на лесоматериалы.

В этих условиях зависимость спроса  $D$  от цены:

$$R = D = \frac{K}{\Pi_1}, \quad (5)$$

где  $K$  – объем денежных средств покупателя, который вынужден приобрести лесопroduкцию, обратно пропорциональной цене  $\Pi_1$ . В условии монополии коэффициент эластичности  $E = 1$ .

Примем, что начальные затраты равны нулю, ( $Z_0 = 0$ ). Считаем, что переменная часть затрат описывается экспоненциально:

$$q(R) = b_0 R^{gl}, \quad (6)$$

где  $b_0$  – коэффициент,

$gl$  – константы.

Тогда прибыль:

$$\Pi = F_1(R) = \frac{K}{\Pi_1} \cdot \left( \frac{\Pi_1}{1+\alpha} - \right. \quad (7)$$

$$\left. -B_1 - B_1 \cdot b_0 \cdot K^{-gl} \cdot \Pi_1^{gl} \right),$$

$$\Pi = \frac{K}{\Pi_1(1+\alpha)} (\Pi_1 a_1 c_1 \Pi_1^{gl}), \quad (8)$$

$$a_1 = B_0(1+\alpha), c_1 = B_1 b_0 K^{gl} (1+\alpha). \quad (9)$$

Вычислим первую производную:

$$F'(\Pi_1) = \frac{K}{(1+\alpha)\Pi_1^2} (a_1 + c_1 (\lg l) \Pi_1^{gl}) > 0, \forall \Pi_1. \quad (10)$$

Так как производная положительна, прибыль увеличивается с ростом стоимости на лесоматериалы[8]:

$$\bar{F} = \lim_{\Pi_1 \rightarrow \infty} F_1(\Pi_1) = \frac{K}{1+\alpha}. \quad (11)$$

Тогда условие положительности прибыли

$$F_1(\Pi_1) > 0 \Rightarrow \Pi_1 \cdot a_1 - c_1 \cdot \Pi_1^{gl}. \quad (12)$$

Решение этого уравнения позволяет найти оптимальную стоимость лесоматериалов [9]. Обозначая  $\Pi = \Pi_1 + a_1, y = c_1 \cdot \Pi_1^{gl}, gl < 1$ , получим, что для любых значений входных переменных всегда существует единственное решение  $\Pi_1$  – оптимальная стоимость.

Алгоритм решения данной задачи сформулируем следующим образом.

Так как функция прибыли на интервале цены от 0 до цены покупателя возрастает, пересекает ось «капитал покупателя» и имеет явно выраженный

максимум – экстремум, то оптимальную цену, т. е. точку пересечения с осью «капитал покупателя», можно найти, воспользовавшись методом половинного деления отрезка [10].

Вывод: чтобы найти стоимость лесоматериала, при которой предприятие будет иметь максимальную прибыль, необходимо найти экстремум функции прибыли. Для этого найдем точку, в которой производная от этой функции равна нулю. Исходя из вида функции прибыли, очевидно, что производная ведет себя сле-

дующим образом: она положительна, когда функция возрастает; она равна нулю в точке максимума; она отрицательна, когда функция убывает [5]. Интервал возможного изменения делится пополам. Из двух половин выбирается та, на концах которой данная функция имеет противоположные значения, ибо корень уравнения находится в этой половине. Затем данная половина делится пополам, и так далее, до тех пор, пока длина интервала не станет равной требуемой точности 0,001.

### Библиографический список

1. Пильник, Ю.Н. Методика определения оптимальной структуры парка транспортно-технологических машин [Электронный ресурс] / Ю.Н. Пильник, С.И. Сушков, А.Ю. Арутюнян // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/129-22674>.
2. Сушков, С.И. Принципы решения задач управления в многоуровневых транспортно-производственных системах лесного комплекса [Текст] / С.И. Сушков, О.Н. Бурмистрова, Ю.Н. Пильник // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11. – Ч. 2. – С. 317-321.
3. Бурмистрова, О.Н. Определение оптимальных скоростей движения лесовозных автопоездов из условия минимизации расхода топлива [Текст] / О.Н. Бурмистрова, С.А. Король // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2013. – № 1 (93). – С. 25-28.
4. Setinc, M. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm [Text] / M. Setinc, M. Gradisar, L. Tomat // Optimization. – 2015. – Vol. 64. – Issue 3. – pp. 687-707.
5. Janssen, Thomas Stahlbau Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau [Text] // Janssen Thomasstahlbau. – 2015. – Vol. 84. – Issue 3. – pp. 182-194.
6. Hare, W.A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction [Text] / W. Hare, Y. Lucet, F. Rahman // European journal of operational research. – 2015. – Vol. 241. – Issue 3. – pp. 631-641.
7. Santos, J. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework [Text] / J. Santos, A. Ferreira, G. Flintsch // International journal of pavement engineering. – 2015. – Vol. 16. – Issue 3. – pp. 268-286.
8. Liyanage, C. Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads [Text] / C. Liyanage, F. Villalba-Romero // Transport reviews. – 2015. – Vol. 35. – Issue 2. – Special Issue: SI. – pp. 140-161.
9. Setinc, M. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm [Text] / M. Setinc, M. Gradisar, L. Tomat // Optimization. – 2015. – Vol. 64. – Issue 3. – pp. 687-707.
10. Burdett, R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction [Text] / R. Burdett, E. Kozan, R. Kenley // Engineering optimization. – 2015. – Vol. 47. – Issue 3. – pp. 347-369.

### References

1. Pilnik Y.N., Sushkov S.I., Arutyunyan A.Y. *Metodika opredelenija optimal'noj struktury parka transportno-tehnologicheskikh mashin* [Method for determining the optimal fleet structure transport and technological machines]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2015, no. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/129-22674> (In Russian).
2. Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Pilnik Y.N. *Principy reshenija zadach upravlenija v mnogourovnevnyh transportno-proizvodstvennyh sistemah lesnogo kompleksa* [Principles of management tasks in a multitier transport and production systems forest complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015, no. 11, Part 2, pp. 317-321. (In Russian).

3. Burmistrova O.N., Korol S.A. *Opređenje optimal'nyh skorostej dvizhenija lesovoznyh avto-poezdov iz uslovija minimizacii rashoda topliva* [Determination of optimal speeds logging trucks from the condition of minimizing fuel consumption]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa Lesnoj vestnik* [Herald of Moscow State Forest University Forest Gazette]. 2013, no. 1 (93), pp. 25-28. (In Russian).
4. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *Optimization*, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.
5. Janssen, Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. *Janssen Thomasstahlbau*, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.
6. Hare, Warren; Lucet, Yves; Rahman, Faisal A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction. *European journal of operational research*, 2015, Vol. 241, Issue 3, pp. 631-641.
7. Santos, Joao; Ferreira, Adelino; Flintsch, Gerardo A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. *International journal of pavement engineering*, 2015, Vol. 16, Issue 3, pp. 268-286.
8. Liyanage, Champika; Villalba-Romero, Felix Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. *Transport reviews*, 2015, Vol. 35, Issue 2, Special Issue: SI, pp. 140-161.
9. Setinc, Marko; Gradisar, Mirko; Tomat, Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. *Optimization*, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.
10. Burdett R.; Kozan E.; Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. *Engineering optimization*, 2015, Vol. 47, Issue 3, pp. 347-369.

### Сведения об авторах

*Сушков Сергей Иванович* – заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация, e-mail: S.I.Sushkov@mail.ru.

*Пильник Юлия Николаевна* – старший преподаватель ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация, e-mail: ypilnik@mail.ru.

### Information about authors

*Sushkov Sergey Ivanovich* – Head of the Department of Industrial Transport, Civil Engineering and Geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation, e-mail: SISushkov@mail.ru.

*Pilnik Yulia Nikolaevna* – Senior Lecturer, Federal State Budget Education Institution of Higher Professional Education «Ukhta State Technical University», PhD in Engineering, Ukhta, Russian Federation, e-mail: ypilnik@mail.ru.

DOI: 10.12737/19963

УДК 630\*323.4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБА СТРЕЛЫ ХЛЫСТА

кандидат технических наук, доцент **А. А. Ушницкий**<sup>1</sup>

**М. Ф. Григорьев**<sup>1</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Якутск, Российская Федерация

Известно, что вертикальная нагрузка на трелевочный трактор зависит от размерных характеристик трелеваемых хлыстов и равняется весу прогнувшейся части хлыста от комлевого среза до точки отрыва от поверхности земли и изгибающего момента. Для определения веса погруженной части учитывается распределение массы по длине хлыста, плотность древесины, модуль упругости и силы трения хлыстов в пачке. Для упрощения расчет производился при сле-