DOI: 10.12737/article_5b97a15c4ef7d3.26143418
УДК 656*4

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

доктор технических наук, профессор **О. Н. Бурмистрова**[1]
кандидат технических наук, доцент **Э. А. Черников**[2]
кандидат технических наук, доцент **Ю. Н. Пильник**[1]
Ю. М. Чемшикова[1]
1 – ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»,
г. Ухта, Российская Федерация
2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Одной из основных особенностей управления перевозками и дорожным движением в условиях ИТС (интеллектуальных транспортных систем) является решение задач оптимизации маршрутов движения отдельных автомобилей и транспортных потоков в реальном режиме времени. Указанное положение обусловлено одной из форм интегрирования подсистем ИТС в единую систему, временной интеграцией. Суть временной интеграции заключается, прежде всего в том, что свои возможности ИТС могут реализовать только при работе в реальном масштабе времени. Уровень оперативности и эффективности управленческих решений напрямую зависят от минимизации времени с момента измерения параметров состояния транспортных процессов до реализации управленческих решений. Наиболее важно это обстоятельство учитывать при маршрутной навигации, динамическом руководстве маршрутами автомобилей, обеспечении информацией участников дорожного движения. В связи с этим при решении задач оптимизации маршрутов движения в реальном режиме времени следует учитывать следующие особенности: ИТС обеспечивают решение задач оптимизации и выбора маршрута движения транспортных потоков по сети и отдельных автомобилей в любой момент времени; сбор, передачу и обработку информации о транспортных потоках и характеристиках дорожной сети необходимо проводить в непрерывном режиме с целью ее наличия на последний момент времени; модели, алгоритмы и программное обеспечение должны позволять решать задачи оптимизации маршрутов движения для любого узла сети и в любой момент времени с учетом реального состояния транспортной системы и требований пользователей; оборудование транспортных средств и технические средства организации дорожного движения должны обеспечивать прием и реализацию управляющей информации в масштабе реального времени; время сбора, обработки (моделирования, расчета), передачи информации, приема и реализации управляющего воздействия должны соответствовать реальному режиму времени, т.е. изменение маршрутов (режимов) движения должно быть адекватно состоянию транспортной системы.

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

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT OF TIMBER TRANSPORT CARGO FLOWS IN THE CONDITIONS OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

DSc in Engineering, Professor **O. N. Burmistrova** [1]
PhD in Engineering, Associate Professor **E. A. Chernikov** [2]
PhD in Engineering, Associate Professor **Yu. N. Pilnik** [1]
Yu. M. Chemshikova [1]
1 – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation
2 – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Forestry University G.F. Morozova», Voronezh, Russian Federation

Abstract

One of the main features of traffic and transport management in the context of ITS (intelligent transport systems) is the solution of the problems of optimizing the routes of movement of individual cars and traffic flows in real time. This provision is explained by time integration, one of the forms of integration of ITS subsystems into a single system. The essence of temporal integration is that ITS can realize its capabilities only when working in real time. The level of efficiency and effectiveness of management decisions directly depend on minimizing the time from the moment of measuring the parameters of the condition of transport processes to the implementation of management decisions. Most importantly, this fact should be taken into account in route navigation, dynamic management of car routes, providing information to road users. In connection with this, the following features should be taken into account when solving problems of route optimization in real time: ITS provide the solution of problems of optimization and selection of a route of transport flows on a network and separate cars at any time; collection, transferring and processing of information on traffic flows and characteristics of road network should be carried out in a continuous mode with the purpose of its availability at the last moment of time; models, algorithms and software should enable to solve traffic optimization problems for any network node and at any time taking into account the real state of transport system and user requirements; equipment of vehicles and technical means of traffic management should ensure the receipt and implementation of management information in real time; time of collection, processing (simulation, calculation), transferring of information, reception and implementation of control action should correspond to a real time mode, i.e. change of routes (modes) should be adequate to the state of transport system.

Keywords: system, transport, timber, flows, structure, perspective planning, modeling, algorithm, method, production, technological operation, optimization, management.

Перспективным направлением развития подсистем маршрутной навигации ИТС является поэтапный переход от автономного управления маршрутом автомобиля на сети к динамическому управлению маршрутом.

Указанный подход требует сбалансированного совершенствования технических средств обеспечивающих процесс маршрутной навигации (бортовые компьютеры, оборудование навигационных систем, средства связи и т.д.) и информационных технологий призванных обеспечить процесс сбора, обработки и передачи информации. При этом основная задача обработки информации заключается в выборе оптимальных маршрутов и своевременной их корректировке в процессе движения. Существующие ранее методы не учитывали особенности решения указанных задач в условиях ИТС. Это прежде всего многокритериальность в выборе маршрутов движения, маршрутная навигация в реальном режиме времени а также динамичность процесса управления маршрутом. Динамическое управление маршрутом предполагает прежде всего возможность в любое время и в любой точке маршрута провести корректировку (перерасчет) оптимального маршрута с учетом изменившейся ситуацией в транспортной сети, а также с учетом возможных изменений критериев выбора маршрутов. Такой тип оптимизационных задач возможно решить методами исследования операций с использованием динамического программирования [3, 5].

При решении задач оптимизации распределе-

ния транспортных потоков на сети автодорог следует исходить из того, что цели, а, следовательно, и критерии выбора маршрутов отдельными участниками движения и органами, отвечающими за организацию дорожного движения, могут не совпадать. Кроме этого схемы реализации управленческих воздействий для отдельных автомобилей и транспортных потоков на сети различны, как по способам воздействия, так и техническим средствам [1].

Учитывая то, что задача оптимизации работы транспортной сети в условиях ИТС с учетом реальных характеристик дорожной сети и транспортных потоков на ней решается в реальном времени, из возможных управленческих воздействий следует исключить решения связанные с развитием сети, ее реконструкцией и строительством новых участков.

Основными в этой задаче являются воздействия через технические средства организации дорожного движения и перевозок в первую очередь направленные на маршрутное ориентирование участников движения с учетом решения оптимизационной задачи на сетевом уровне.

Одним из основных недостатков оптимизации распределения транспортных потоков в настоявшее время является учет только детерминированных аспектов функционирования транспортной системы, когда задача оптимизации решается только для какого-то конкретного момента времени. Однако стохастичность и нестационарность дорожного движения ограничивают сферу применения таких оптимизационных расчетов, не учитывающих пространственно-временной характер функционирования транспортной сети [9].

В реальном процессе дорожного движения водители выбирают маршрут движения, руководствуясь сведениями о кратчайшем расстоянии от пункта отправления до пункта назначения. Таким образом, используется детерминированный критерий выбора в динамической системе. Это противоречие существует не только на уровне участника дорожного движения, но и на уровне организации дорожного движения. В этой ситуации осуществляется не управление движением, а адаптация параметров работы технических средств организации дорожного движения к случайно формирующимся транспортным потокам [7].

В связи с этим разрабатываемые методы моделирования и оптимизации дорожного движения позволяют учесть динамические процессы при изменении условий функционирования транспортной сети во времени и пространстве. При этом допускается, что изменяться во времени может не только интенсивность, но и характеристики улично-дорожной сети: конфигурация, разрешенные направления движения, пропускная способность.

В качестве критерия оптимизации выступает среднее время поездки всех транспортных средств, находящихся в сети. Соответственно, могут существовать такие ситуации, когда часть транспортных средств осуществляет поездку по маршруту не являющимся кратчайшим, однако в целом транспортная система функционирует в оптимальном режиме. Фактически в процессе оптимизации достигается сглаживание целевых установок индивидуальных пользователей сети и транспортного потока в целом [2].

В основе установленных соотношений между параметрами двухкомпонентных моделей кинетической теории транспортных потоков и условий дорожного движения на регулируемой дорожной сети решаются задачи оптимального распределение транспортных потоков преимущественно по критерию минимального времени поездки [6].

Задачу оптимизации распределения транспортных потоков на сети по критерию минимального времени нахождения участников движения в транспортной сети с учетом использования навигационных систем маршрутного ориентирования необходимо решать в нескольких уровнях. На микроуровне осуществляется моделирование движения каждого автомобиля с заданной дискретностью и это позволяет сформировать исходную матрицу корреспонденций и корректировать ее с учетом входа и выхода автомобилей на участок моделирования. На макроуровне можно также варьировать числом автомобилей, которые имеют навигационные системы и осуществляют движение по оптимальным маршрутам с помощью информационного обеспечения интеллектуальных транспортных систем. Таким образом формируется поток, состоящий из двух категорий транспортных средств – движущиеся по оптимальным маршрутам и движущиеся по случайным маршрутам.

На микроуровне задача нахождения оптимальных маршрутов решается по мере вхождения автомобилей в сеть и движения по элементам сети с дис-

кретностью 1 с. Моделирование движения осуществляется на основе моделей теории катастроф и вероятностных законов распределения параметров транспортных потоков [8].

В то же время необходимо на макроуровне решать задачу оптимального распределения транспортных потоков, т.к. только в этом случае возможно получить решение, которое обеспечивает минимальное время поездки для всех автомобилей, находящихся в сети. Дискретность решения этой задачи соответствует наиболее типичному времени усреднения интенсивности движения, равному примерно 15 минутам. Оптимизация на макроуровне может также осуществляться не только при изменении интенсивности движения, но также при изменении состояния сети - падении пропускной способности, закрытии каких-либо элементов сети. Информация, полученная при оптимизации на макроуровне, выступает в качестве дополнительных данных и ограничений при определении оптимальных маршрутов для отдельных автомобилей.

На макроуровне задача оптимизации формулируется таким образом, что необходимо получить распределение транспортных потоков в сети при минимизации времени поездки

$$t\left(\left\{q_j^k\right\}\right) \to \min, \qquad (1)$$

$$q^k = \left(q_1^k, \ldots, q_e^k\right)^T, \; k = 1, m, \qquad (2)$$

при ограничениях:

- по пропускной способности

$$\sum_{k=1}^{m} q_j^k \le c_i, \; j = 1, l; \; i = 1, n, \qquad (3)$$

-минимальной интенсивности движения

$$q_j^k \ge 0, \; j = 1, l; \quad k = 1, m, \qquad (4)$$

- сохранении потока в сети

$$\sum_{j=1}^{l} a_{ij} q_j^k = g_i^k, \quad i = 1, n, \qquad (5)$$

Матрица инциденций формируется так:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если дуга } j \text{ начинается в узле } i; \\ -1, \text{ если дуга } j \text{ заканчивается в узле } i; \\ 0, \text{ если дуга } j \text{ не включает узел } i. \end{cases}$$

Матрица интенсивности входных и выходных потоков строится по следующему принципу:

$$g_i^k = \begin{cases} >0, \text{ если транспортный поток входит в узел i;} \\ <0, \text{ если транспортный поток выходит из узла i;} \\ =0, \text{ если транспортный поток не поступает и не выходит из узла i.} \end{cases}$$

При оптимизации вычисляется расширенная функция Лагранжа

$$L(t, \lambda, r) = t(q) + \lambda^T h(q) + \frac{1}{2} r \left\| h(q) \right\|^2, \qquad (6)$$

где λ – множители Лагранжа;

h – функция штрафа;

r – коэффициент штрафа.

Последовательные значения векторов множителей Лагранжа определяются следующим образом:

$$\lambda^{(S+1)} = \lambda^{(S)} + r^{(S)} h(q), \qquad (7)$$

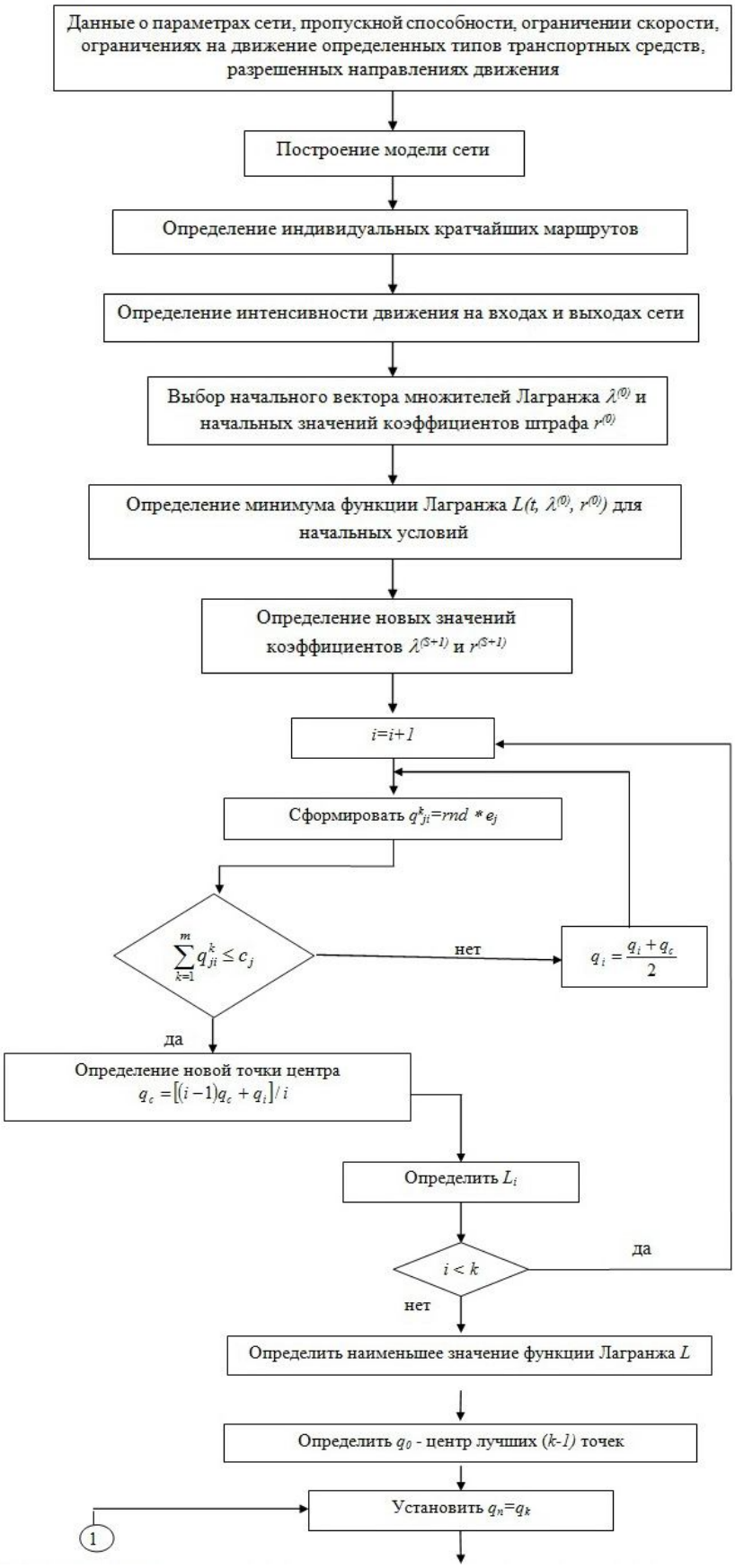
При реализации алгоритма оптимизации первоначально определяется исходный вектор $\lambda^{(0)} > 0$ и для этих значений множителей Лагранжа определяется значение безусловного минимума расширенной функциии Лагранжа $L(t, \lambda^{(0)}, r)$ с помощью метода Бокса. На каждом шаге оптимизации определяются множители Лагранжа $\lambda^{(S+1)}$ и коэффициенты $r^{(S+1)}$, точка q_j^k, как точка минимума функции L. Оптимальное решение считается найденным, если выполняется условие

$$\left| t^{(S+1)}(q) - t^{(S)}(q) \right| \le \varepsilon, \qquad (8)$$

Укрупненный алгоритм оптимизации приведен на рисунке.

Анализ существующих транспортных схем в любом лесопромышленном регионе показывает, что пути транспорта леса на специализированные предприятия частично совпадают с путями транспорта общего государственного назначения. Поэтому в регионе лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий необходимо создавать единую транспортную сеть для перевозки лесных грузов, в которой лесовозные дороги и дороги общего пользования являются необходимыми звеньями.

Вывод: Система региональных транспортных связей лесопромышленных предприятий должна отражать основные тенденции использования в народ-


Данные о параметрах сети, пропускной способности, ограничении скорости, ограничениях на движение определенных типов транспортных средств, разрешенных направлениях движения
Построение модели сети
Определение индивидуальных кратчайших маршрутов
Определение интенсивности движения на входах и выходах сети
Выбор начального вектора множителей Лагранжа $\lambda^{(0)}$ и начальных значений коэффициентов штрафа $r^{(0)}$
Определение минимума функции Лагранжа $L(t, \lambda^{(0)}, r^{(0)})$ для начальных условий
Определение новых значений коэффициентов $\lambda^{(S+1)}$ и $r^{(S+1)}$
$i=i+1$
Сформировать $q^k_{ji}=rnd * e_j$
$\sum_{k=1}^{m} q^k_{ji} \le c_j$
нет
$q_i = \frac{q_i + q_c}{2}$
да
Определение новой точки центра $q_c = [(i-1)q_c + q_i]/i$
Определить L_i
$i < k$
да
нет
Определить наименьшее значение функции Лагранжа L
Определить q_0 - центр лучших $(k-1)$ точек
Установить $q_n=q_k$
1

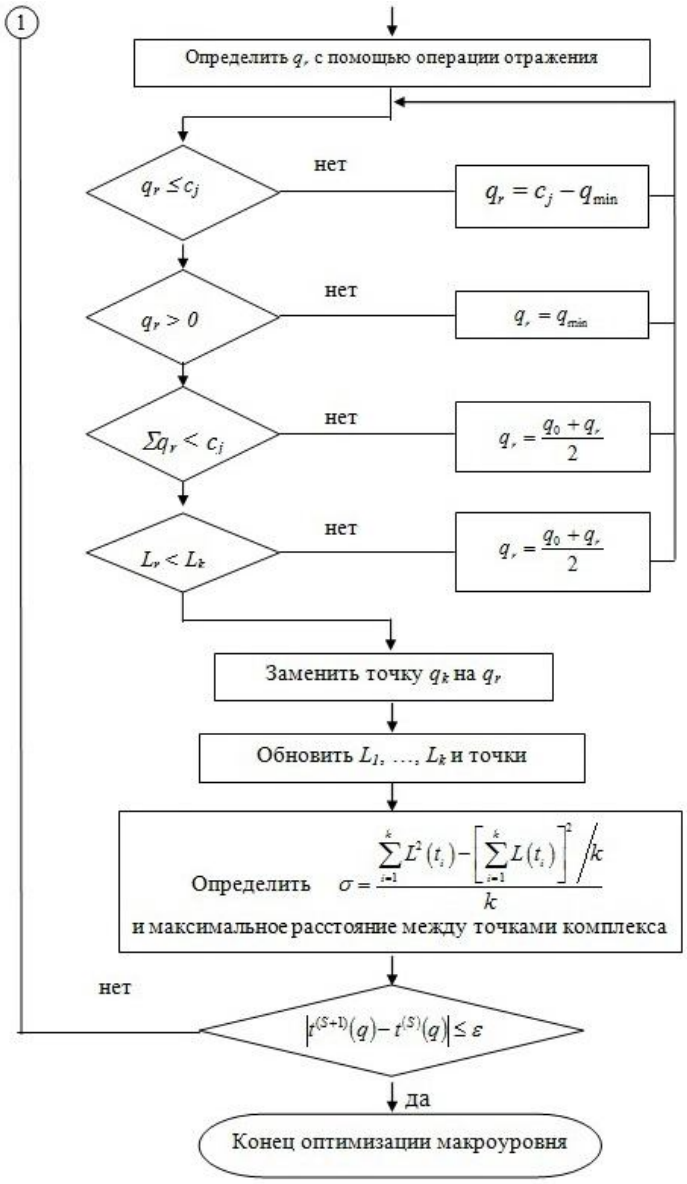


Рис. Алгоритм оптимизации распределения транспортного потока

ном хозяйстве продукции из древесины. Задача состоит в том, чтобы при имеющихся лесосырьевых ресурсах с учетом изменения их объемов сформировать в лесопромышленных регионах такие системы транспортных связей предприятий, которые бы обеспечивали заданный выпуск основных круглых лесоматериалов из минимального объема заготовленного леса, а подготовка сырья для последующей его переработки в бумагу, картон, плиты достигала максимальной величины при повышении эффективности всего транспортно-технологического процесса в лесопромышленных регионах.

Целевой функцией являются модели двухкомпонентной теории транспортных потоков, описывающие изменение удельного времени поездки в регулируемой транспортной сети. Оптимизация на макроуровне осуществляется с помощью расширенной функции Лагранжа и комплексного метода Бокса.

Библиографический список

1. Вагнер, Г. Основы исследования операций. В 3 т. [Текст] / Г. Вагнер ; пер. с англ. – М. : Мир, 1972.
2. Лэсдон, Л. Оптимизация больших систем [Текст] / Л. Лэсдон. – М. : Наука, 1975. – 432 с.
3. 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.

4. Сушков, С. И. Разработка теоретических основ планирования и управления транспортными потоками в лесном комплексе [Текст] / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, Ю. Н. Пильник // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (6). – С. 1331-1335.

5. Сушков, С. И. Оптимизация параметров транспортных процессов на предприятиях лесопромышленного комплекса [Текст] / С. И. Сушков, О. Н. Бурмистрова, Ю. Н. Пильник // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11. – Ч. 2. – С. 37-241.

6. 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. – P. 140-161.

7. Hare, W. A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and sideslopes in road construction [Text] / W. Hare, Y. Lucet, F. Rahman // European journal of operational research. – 2015. – Vol. 241. – Iss. 3. – P. 631-641.

8. 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. – Iss. 3. – P. 347-369.

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. – Iss. 3. – P. 687-707.

10. Design and conctruction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau [Text] // Janssen Thomasstahlbau. – 2015. – Vol. 84. – Iss. 3. – P. 182-194.

References

1. Vagner G. *Osnovy issledovaniya operatsiy* [Basics of Operations Research]. Moscow, 1972. (In Russian).

2. Lesdon L. *Optimizatsiya bol'shikh sistem* [Optimization of large systems]. Moscow, 1975, 432 p. (In Russian).

3. Sushkov S. I., Burmistrova O. N., Pilnik Yu. N. *Printsipy resheniya zadach upravleniya v mnogourov-nevykh transportno-proizvodstvennykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Principles of solving management problems in multi-level transport-production systems of the forest complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2015, no. 11 (2), pp. 317-321. (In Russian).

4. Sushkov S. I., Burmistrova O. N., Pilnik Yu. N. *Razrabotka teoreticheskikh osnov planirovaniya i upravleniya transportnymi potokami v lesnom komplekse* [Development of theoretical bases of planning and management of transport streams in the forest complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2014, no. 8 (6), pp. 1331-1335. (In Russian).

5. Sushkov S. I., Burmistrova O. N., Pil'nik Yu. N. *Optimizatsiya parametrov transportnykh protsessov na predpriyatiyakh lesopromyshlennogo kompleksa* [Optimization of the parameters of transport processes at the enterprises of the timber industry complex]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2015, no. 11 (2), pp. 237-241. (In Russian).

6. Liyanage C., Villalba-Romero, F. 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.

7. Hare W., Lucet Y., Rahman F. 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.

8. 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.

9. Setinc M., Gradisar M., Tomat L. Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015, Vol. 64, Issue 3, pp. 687-707.

10. Design and conctruction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. Janssen Thomasstahlbau, 2015, Vol. 84, Issue 3, pp. 182-194.

Сведения об авторах

Бурмистрова Ольга Николаевна – заведующая кафедрой технологий и машин лесозаготовок ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Ухта, Российская Федерация; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.

Черников Эдуард Анатольевич – доцент кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chernikovea36@mail.ru.

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

Чемшикова Юлия Михайловна – аспирант ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кандидат технических наук, г. Ухта, Российская Федерация, e-mail: Ychemshikova@ugtu.net.

Information about authors

Burmistrova Olga Nikolaevna – Head of the Department of technology and machinery of logging , Federal state budgetary educational institution of higher education «Ukhta State Technical University», DSc in Engineering, Professor, Ukhta, Russian Federation; e-mail: oburmistrova@ugtu.net.

Chernikov Eduard Anatolyevich – associate professor of industrial transport, construction and geodesy, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Russian Federation; e-mail: chernikovea36@mail.ru.

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

Chemchikova Yuliya Mikhailovna – post-graduate student, Federal state budgetary educational institution of higher education «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russian Federation; e-mail: Ychemshikova@ugtu.net.

DOI: 10.12737/article_5b97a15d640949.77494456
УДК 630*377

ПРОГНОЗНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

кандидат технических наук, доцент **В. А. Иванников**[1]
кандидат технических наук, доцент **Ю. Н. Пильник**[2]
Ю. В. Ермолов[1]
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

Планированию производственных сил на предприятии в настоящее время уделяют важное значение, а следовательно к методам прогнозирования относятся более требовательно. Главным элементом производственных сил является перспективная потребность в материальных ресурсах. Для ее определения на длительную перспективу не стоит полагаться на простые способы экономического прогнозирования, а необходимо разрабатывать и использовать особое методическое обеспечение, которое будет соответствовать специфике и отвечать задачам и целям предплановых расчетов конкретной территории. В статье нами рассмотрены модели, предназначенные для решения двух групп задач: корреляционно-регрессионное моделирование прогноза экономических показателей ввоза-вывоза лесоматериалов и статистическое моделирование прогноза по динамическим рядам. Для определения перспективной потребности в лесных ресурсах принятые методы и модели должны отвечать главным критериям социально-экономического развития, долгосрочным целям, научно-техническому прогрессу в области потребления материальных ресурсов, территориальному разделению и специфическим особенностям регионов. К тому же предлагаемые