

УДК 630*377

UDC 630*377

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СВЯЗЕЙ ЛЕСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ**IMPROVEMENT OF A MULTILEVEL SYSTEM OF TRANSPORT LINKS OF FOREST ENTERPRISES AT THE REGIONAL LEVEL**

Иванников Валерий Александрович

Ivannikov Valerii Aleksandrovich

к. т. н., доцент

Cand. Tech. Sci., associate professor

РИНЦ SPIN-код: 3245-8474

RSCI SPIN-code: 3245-8474

ivannikov_vrn@mail.ru

ivannikov_vrn@mail.ru

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени**Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov», Voronezh, Russian Federation**Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация*

В данной статье рассматривается структура региональной транспортной системы лесного комплекса, в которой каждый вид транспорта характеризуется определенной структурой, технологией функционирования и средствами транспортировки. Для описания указанной выше взаимосвязи параметров, определяющих деятельность отдельного вида транспорта, используется метод производственных функций. Приведена аналитическая зависимость, выражающая формальную связь между параметрами различного вида транспорта, представлена целевая функция организационной структуры управления региональной транспортной системы, отражающая эффективность всей транспортной системы в целом. Постановка задачи рассматривается с позиции теории игр, в которой имеется четыре участника игры с несовпадающими интересами: организационная структура управления региональной транспортной системы и три транспортные подсистемы, каждый из участников обладает собственным вектором управления, который принадлежит заданному множеству. Рассматривается случай полной информированности, при которой иерархическая структура и все целевые функции системы участникам известны. Полученная постановка задачи моделируется игрой четырёх лиц с несовпадающими интересами. Игра рассматривается с точки зрения транспортных подсистем. Для описания взаимосвязи параметров, определяющих деятельность отдельного вида транспорта, используется метод производственных функций. Приведен алгоритм решения задачи

This article considers the structure of the regional transport system of the forest complex, in which each mode of transport is characterized by a certain structure, technology of functioning and means. To describe the relationship between the parameters that determine the activity of a particular mode of transport, the production function method is used. Analytical dependence expressing the formal relationship between the parameters of various modes of transport is presented, the objective function of the organizational structure of the regional transport system management is presented, reflecting the efficiency of the entire transport system as a whole. The formulation of the problem is considered from the standpoint of game theory, in which there are four players with disparate interests: the organizational structure of the regional transport system and the three transport subsystems, each of the participants has its own control vector that belongs to the given set. We consider the case of full awareness, in which the hierarchical structure and all the objective functions of the system are known to the participants. The resulting statement of the problem is modeled by the game of four persons with conflicting interests. The game is viewed from the perspective of transport subsystems. To describe the relationship between the parameters that determine the activity of a particular mode of transport, the production function method is used. An algorithm for solving the problem is given

Ключевые слова: ЛЕСНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ТРАНСПОРТ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ, ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА, ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ, ЛЕСНОЙ КОМПЛЕКС

Keywords: FOREST ENTERPRISES, TRANSPORT, IMPROVEMENT, TRANSPORT SYSTEM, TARGET FUNCTION, FORESTRY COMPLEX

Doi: 10.21515/1990-4665-134-040

Региональная транспортная система (РТС) представляет собой двухуровневую иерархическую структуру, состоящую из управления РТС, рас-

<http://ej.kubagro.ru/2017/10/pdf/40.pdf>

пределяющего ограниченные ресурсы $\sum_{i=1}^3 X_i = W$ и трёх транспортных подсистем (видов транспорта), производящих однотипную транспортную продукцию – взаимозаменяемые перевозки: P_1, P_2, P_3 . Каждый вид транспорта характеризуется определённой структурой, технологией функционирования и средствами, которыми он располагает [1-3]. Аналитическая зависимость между этими параметрами может быть построена на основе аппарата производственных функций, а формальная связь между ними имеет вид:

$$P_i = P_i(\bar{\beta}_i, X_i, \bar{V}_i), \quad (1)$$

где P_i – объём перевозок i -го вида транспорта; $\bar{\beta}_i$ – вектор параметров i -го вида транспорта, который характеризует его структуру и количество исходных ресурсов; X_i – количество ресурсов, водимых в i -ый вид транспорта; V_i – вектор собственных управлений i -й транспортной подсистемы ($Y_i = y_{i1}, \dots, y_{ik_j}$) характеризует распределение ресурсов X_i в этой подсистеме и принадлежит множеству:

$$A_i = \left\{ \frac{\bar{Y}_i}{Y_i} = (y_{i1} \dots y_{ik_i}), \sum_{k=1}^{k_i} y_{ik} \leq X_i, y_{ik} \geq 0, k = \overline{1, k_i} \right\}. \rightarrow \min. \quad (2)$$

Целью i -ой транспортной подсистемы является максимизация своей доли в общем объёме перевозок. Тогда её целевая функция F_i запишется так:

$$F_i(\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}_1, Y_2, Y_3) = \frac{(P_i(\bar{B}_i, X_i, \bar{Y}))}{\sum_{i=1}^3 P_i(B_i, X_i, Y_i)} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $\bar{B} = (\bar{B}_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3)$; $\bar{X} = (X_1, X_2, X_3)$.

Целевая функция организационной структуры управления РТС, отра-

жающая эффективность всей транспортной системы в целом, запишется так:

$$F_i(\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3) = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i(\bar{B}_i, X_i, Y_i)}{\sum_{i=1}^3 X_i}. \quad (4)$$

При этом средства транспортной системы ограничены:

$$\sum_{i=1}^3 X_i \leq W, X_i \geq 0, \quad (5)$$

И общий объём перевозок не должен быть меньше некоторого планового показателя N :

$$\sum_{i=1}^3 P_i(\bar{B}, X_i, \bar{Y}_i) \geq N. \quad (6)$$

Множество векторов, характеризующих распределение средств между видами транспорта, имеет вид и составляет допустимое множество стратегий развития, принадлежащих организационной структуре управления ЕРТС.

$$S = \left\{ \begin{array}{l} \bar{X} = (X_1, X_2, X_3), \sum_{i=1}^3 X_i \leq W, X_i \geq 0, \\ i = \overline{1,3}; \sum_{i=1}^3 P_i(\bar{B}_i, X_i, \bar{Y}_i) \geq N \end{array} \right\}, \quad (7)$$

Постановка задачи рассматривается с позиции теории игр. Имеется четыре участника игры с несовпадающими интересами: организационная структура управления РТС и три транспортные подсистемы. Каждый из участников обладает собственным вектором управления, который принадлежит заданному множеству: $X \in S$, $\bar{Y}_i \in A_i, i = \overline{1,3}$. Целевые функции участников зависят от управления всех участников: $F(\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3)$, $F_i(\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3)$, $i = \overline{1,3}$. Один из участников игры – управление РТС –

занимает обособленное положение, то есть не имеет права вступать ни в какие коалиции с кем-либо из остальных участников. Рассматривается случай полной информированности, при которой иерархическая структура и все целевые функции системы участникам известны. Полученная постановка задачи моделируется игрой четырёх лиц с несовпадающими интересами. Игра рассматривается с точки зрения транспортных подсистем. Это означает, что надо определить такое распределение $\bar{Y}_i \in A_i$, ресурсов X_i , которое будет оптимальным с точки зрения максимизация объёма перевозок, выполняемого i -ой подсистемой [4-6].

Введём следующую гипотезу информированности и порядке ходов: первый ход заключается в одновременном выборе транспортными подсистемами своих стратегий $\bar{Y}_i \in A_i$, $i = \overline{1,3}$, которые сообщаются организационной структуре управления ЕРТС $\bar{X} = \bar{X}^*$. Построенная стратегия РТС в виде вектора функции:

$$X^* = X^*(\bar{B}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3). \quad (8)$$

Определяется из условия:

$$\max F(\bar{B}, \bar{X}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3) = F(\bar{B}, \bar{X}^*, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3). \quad (9)$$

Таким образом, получается игра трёх лиц с постоянной суммой, в которой каждый i -ый участник ($i = \overline{1,3}$) характеризуется функцией выигрыша и располагает стратегиями их допустимого множества C_i , зависящего от стратегии всех игроков:

$$\bar{Y}_i \in C_i(\bar{B}, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3). \quad (10)$$

При этом каждый игрок может влиять на совокупность стратегий других игроков. Если правилами предусмотрено, что транспортные подсистемы производят выбор стратегий независимо друг от друга, без каких –

либо согласований своих действий, то оптимальная стратегия i -й подсистемы будет определяться из решения бескоалиционной игры трёх лиц с постоянной суммой, в которой целью i -го игрока является:

$$\max_{Y_i \in C_i} \psi_i(\bar{B}_i, \bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3). \quad (11)$$

Решение игры будет соответствовать ситуациям равновесия в смысле Нэша (ситуация $\bar{Y}_1^*, \bar{Y}_2^*, \bar{Y}_3^*$) считается равновесной в указанном смысле, если ни одному из игроков не выгодно отступить от предписанной ему в этой ситуации стратегии при условии, что все остальные игроки не отступают от своих равновесных стратегий. Если допускается образование коалиций между транспортными подсистемами, то решение игры находится в смысле Неймэна – Моргенштейна на основе анализа, раскрывающего условия коалиций.

Для описания указанной выше взаимосвязи параметров, определяющих деятельность отдельного вида транспорта, используется метод производственных функций (ПФ). Для иллюстрации приводится наиболее простая и широко распространённая в экономических исследованиях ПФ типа Кобба-Дугласа, которая связывает выпуск конечной продукции с производственными факторами в виде произведения степеней. В качестве факторов i -й транспортной подсистемы рассматриваются следующие ресурсы: основные производственные фонды подсистемы в стоимостном выражении (Φ_i); трудовые ресурсы в человеко- часах (L_i); энергосырьевые ресурсы стоимостном выражении (R_i). Выпуск конечной транспортной продукции характеризуется объёмом перевозок в приведённых тонно- километрах (P_i), который вычислить по формуле:

$$P_i = \delta_i \Phi_i^{\alpha_i} L_i^{\beta_i} R_i^{\gamma_i}, \quad (12)$$

где $\delta_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ – параметры, характеризующие структуру подсистемы и

определяемые на основе статистических данных методами регрессионного анализа.

В первом приближении можно считать:

$$\Phi_i = \Phi_{i0} + f_i L_i = \frac{l_i}{\omega_i}, \quad R_i = r_i, \quad (13)$$

где Φ_{i0} – исходные основные производственные фонды i -й подсистемы в стоимостном выражении; f_i – капитальные вложения в i -ю подсистему; l_i – фонд заработной платы; ω_i – коэффициент среднечасовой заработной платы; r_i – оборотные средства i -й подсистемы.

Предположим, что получаемые i -й подсистемой ассигнования распределяются по следующим статьям расходов: капиталовложения; фонд заработной платы; оборотные средства; амортизационные отчисления, равные $\mu_i \Phi_{ic}$, где μ_i – норма амортизационных отчислений. Тогда баланс средств i -й подсистемы будет определяться соотношением:

$$X_i = f_i + l_i + r_i + \mu \Phi_{ic}. \quad (14)$$

Учитывая приведённые выше зависимости, аналитическая формула взаимосвязи параметров будет иметь вид

$$P_i = \delta_i (\Phi_{i0} + f_i)^{\alpha_i} \left(\frac{l_i}{\omega_i} \right)^{\beta_i} (X_i - f_i - l_i - \mu_i \Phi_{ic})^{\gamma_i}. \quad (15)$$

Рассмотренную статическую задачу распределения средств можно формулировать с учётом фактора времени, то есть как динамическую задачу на интервале времени $t = \overline{0, T}$. Тогда выражение для P_i будет иметь вид:

$$P_i(t) = \delta_i (\Phi_{i0} + f(t))^{\alpha_i} \left(\frac{l_i(t)}{\omega_i(t)} \right)^{\beta_i} \times \\ \times (X_i(t) - f_i(t) - l_i(t) - \mu_i(t) \Phi_{i0})^{\gamma_i} e^{\nu_i t}, \quad (16)$$

где $e^{v_i t}$ – экспоненциальная функция времени, которая характеризует влияние НТП на объём перевозок, выполняемых i -ой подсистемой; v_i – находится на основе регрессионного анализа статистических данных; $\omega_i(t), \mu_i(t)$ – заданные функции времени на интервале $t = \overline{0, T}$.

Управление транспортной системой теперь сводится к заданию программ $\bar{Y}_i(t)$ распределения ресурсов $X_i(t)$ в виде вектора – функционала

$$\bar{Y}_i(t) = (f_i(t), l_i(t)). \quad (17)$$

Из допустимого множества

$$C_{it} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{Y}_i(t) = (f_i(t), l_i(t)), f_i(t) \geq 0, l_i(t) \geq 0, \\ \bar{Y}_i(t) \\ X_i(t) - f_i(t) - \mu_i(t)\Phi_{io} \geq 0, t = \overline{t, T} \end{array} \right\}. \quad (18)$$

При определении целевой функции организационной структуры ЕРТС учитываются только прямые затраты в транспортной системе, равные $\sum_{i=1}^3 X_i$.

Определяя масштабы развития на перспективу видов транспорта, необходимо учитывать тесную связь с условиями использования максимальной грузоподъемности транспортных средств, при минимизации затрат на погрузочно-разгрузочные операции лесоматериалов [7-9]:

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{25i}{c_j} (\omega_j - x_{ij}) \rightarrow \min, \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n V_i, \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} = B, \quad (21)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (22)$$

$$x_{ij} \leq \begin{cases} 5,8 \\ 2,9 \\ 2,7; \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq \sum_{j=1}^m K_j, \\ 2,2 \\ 7,8 \end{cases} \quad (23)$$

где X_{ij} – объем лесоматериала от i -го поставщика к потребителю j -м транспортным средством, м³; S_i – дальность от i -го поставщика до предприятия, км; C_j – средняя скорость передвижения транспорта j -го вида, км/ч; W_j – грузоподъемность j -й машины, м³; V_i – объем лесоматериалов у i -го поставщика, м³; B – потребность в лесоматериалах, м³; K_j – количество машин j -го типа (т. е. данной грузоподъемности).

Критерием оптимизации будет служить минимизация порожних пробегов [2]. Ограничение (21) показывает необходимость вывоза всего сырья у поставщика.

Алгоритм решения задачи.

1 Сбор данных для решения задачи. В одной строке $S_i, i = \overline{1, n}$, в следующей – $V_i, i = \overline{1, n}$; в столбцах, – $K_j, j = \overline{1, m}$, в следующем – $\omega_j, j = \overline{1, m}$.

Требуется найти величину t_{ij} (в ч.), вычисляемую по формуле:

$$t_{ij} = 2S_i / c_j. \quad (24)$$

В углу таблицы 1 на пересечении i -го столбца и j -й строки вставляют

величину согласно следующему выражению:

Таблица 1 – Матрица перевозок

			1	2	i	n
			S_1	S_2	S_i	S_n
			V_1	V_2	V_i	V_n
1	K_1	ω_1	T_{11}	T_{12}	T_{1i}	T_{1n}
			P_{11}	P_{12}	P_{1i}	P_{1n}
2	K_2	ω_2	T_{21}	T_{22}	T_{2i}	T_{2n}
			P_{21}	P_{22}	P_{2i}	P_{2n}
j	K_j	ω_j	T_{j1}	T_{j2}	T_{ji}	T_{jn}
			P_{j1}	P_{j2}	P_{ji}	P_{jn}
m	K_m	ω_m	T_{m1}	T_{m2}	T_{mi}	T_{mn}
			P_{m1}	P_{m2}	P_{mi}	P_{mn}

$$P_{ij} = \begin{cases} \left[\omega_j E \left(\frac{\theta}{t_{ij}} \right) \right] V_i, & \text{если } p_{ij} \leq 1, \\ 1, & \text{если } p_{ij} > 1, \end{cases} \quad (25)$$

где p_{ij} – коэффициент, показывающий, какую часть лесоматериала у i -го поставщика может транспортное средство j -го типа при скорости c_j за период θ .

Каждая клетка содержит число, которое определяется:

$$T_{ij} = \begin{cases} t_{ij} E(\theta / t_{ij}), & \text{если } p_{ij} \leq 1 \\ t_{ij} E \left(\frac{V_i}{\omega_j} + 1 \right), & \text{если } p_{ij} > 1, \end{cases} \quad (26)$$

где T_{ij} – время, необходимое на перевозку лесоматериала от i -го поставщика до предприятия на транспорте j -го типа.

После заполнения таблицы приступают к решению задачи.

Второй этап :

1 Выбор максимального значения объема лесоматериала по постав-

щикам, т. е. определяют $\max V_i$.

2 В столбце с номером i_o выбирается клетка, где имеется $\max p_{io}$.

3 Шаг проводится, если $p_{iojo} < 1$, тогда определяется такое ω_j и целое число a , чтобы:

$$a\omega_j = \min \left\{ a \frac{\omega_j}{V_{io}} \geq 1 - p_{iojo} \right\}. \quad (27)$$

Когда: $T_{iojo} < 0$, то осуществляется.

4 Находится

$$\max_{i \neq i_o} \{ T_{ijo} \leq \theta - T_{iojo} \}. \quad (28)$$

После вычисления T_{iojo} , в том случае, если опять $T_{iojo} + T_{i_1jo} < \theta$, то процедура повторяется: находится $\max \{ T_{ijo} \leq \theta - T_{iojo} - T_{i_1j_1} \}$, т. е. пока больше не будет максимального значения.

5 Затем, когда i_o -й поставщик обеспечен, то рассмотренный столбец вычеркивается из таблицы, K_{jo} снижается на a . И так – пока не аннулируются все столбцы.

Целочисленность решения можно получить с помощью нескольких специальных методов. Алгоритм одного из них рассмотрим на предыдущем примере по транспортировке лесоматериалов. Создадим такой план перевозок, в котором за каждым транспортным средством был бы закреплен только один поставщик. План должен иметь такое распределение объема перевозок между ними, которое обеспечивает минимальную сумму издержек. Решение задачи выполняется в определенной последовательности.

1 Составляется матрица издержек по каждому транспортному сред-

ству для всех поставщиков (табл. 2). Просматривая столбцы матрицы, определяем минимальный элемент в каждом столбце и записываем его в нижней строке.

Таблица 2 – Матрица перевозок

Транспортное средство	Поставщики			
	P_1	P_2	P_3	P_4
M_1	13	12	14	13
M_2	12	11	13	15
M_3	14	–	15	16

2 Вычитаем из каждого элемента каждого столбца матрицы величину минимального элемента.

3 Проводим анализ таблицы 3. В строке M_2 имеются 2 пустые (0) клетки, в M_3 они отсутствуют. Поэтому, за транспортным средством M_2 мы можем закрепить поставщиков P_2 и P_3 , оставив свободной транспортное средство M_3 . Такой вариант неприемлем, поскольку будет нарушено основное требование – каждая единица должна быть закреплена за конкретным поставщиком.

4 Определяем max значения по строкам (табл. 3).

5 По таблице 3 ищется оптимальное распределение транспортных средств по поставщикам. Вначале заполняется целым числом, обычно равным 1, нулевая клетка. Произвольно заполнив данные ячейки, найдем оптимальное распределение.

Таблица 3 – Видоизмененная матрица перевозок

Транспортное средство	Поставщики			
	P_1	P_2	P_3	P_4
M_1	2	1	1	0
M_2	1	0	0	2
M_3	1	–	0	3
M_4	0	–	1	1

Вывод. Такие задачи, заключающиеся в том, чтобы распределить каждое транспортное средство на одну транспортную операцию решаются таким образом, чтобы целевая функция поставки лесоматериалов потребителям стремилась к оптимальному. Определяя масштабы развития видов транспорта на перспективу, необходимо учитывать тесную связь с условиями использования максимальной грузоподъемности транспортных средств, при минимизации затрат на погрузочно-разгрузочные операции лесоматериалов

Список литературы

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. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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. Opredelenie 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. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.