

5. Программные комплексы современных лесных машин / А. Ю. Мануковский, М. В. Зорин, С. Е. Рудов, О. А. Куницкая, И. В. Григорьев // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей. – Казань: ООО «КОНВЕРТ», 2020. – С. 57–59.

УДК 630\*377

Р. Н. Ковалев  
(R. N. Kovalev)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Yekaterinburg)  
И. М. Еналеева-Бандура  
(I. M. Enaleeva-Bandura)  
СибГУ им. М. Ф. Решетнева, Красноярск  
(RSSU, Krasnoyarsk)

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ОПТИМИЗАЦИИ  
ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С УЧЁТОМ  
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ**  
(INFORMATION SUPPORT OF FOREST TRANSPORT SYSTEMS OPTI-  
MIZATION WITH REGARD TO UNCERTAINTIES)

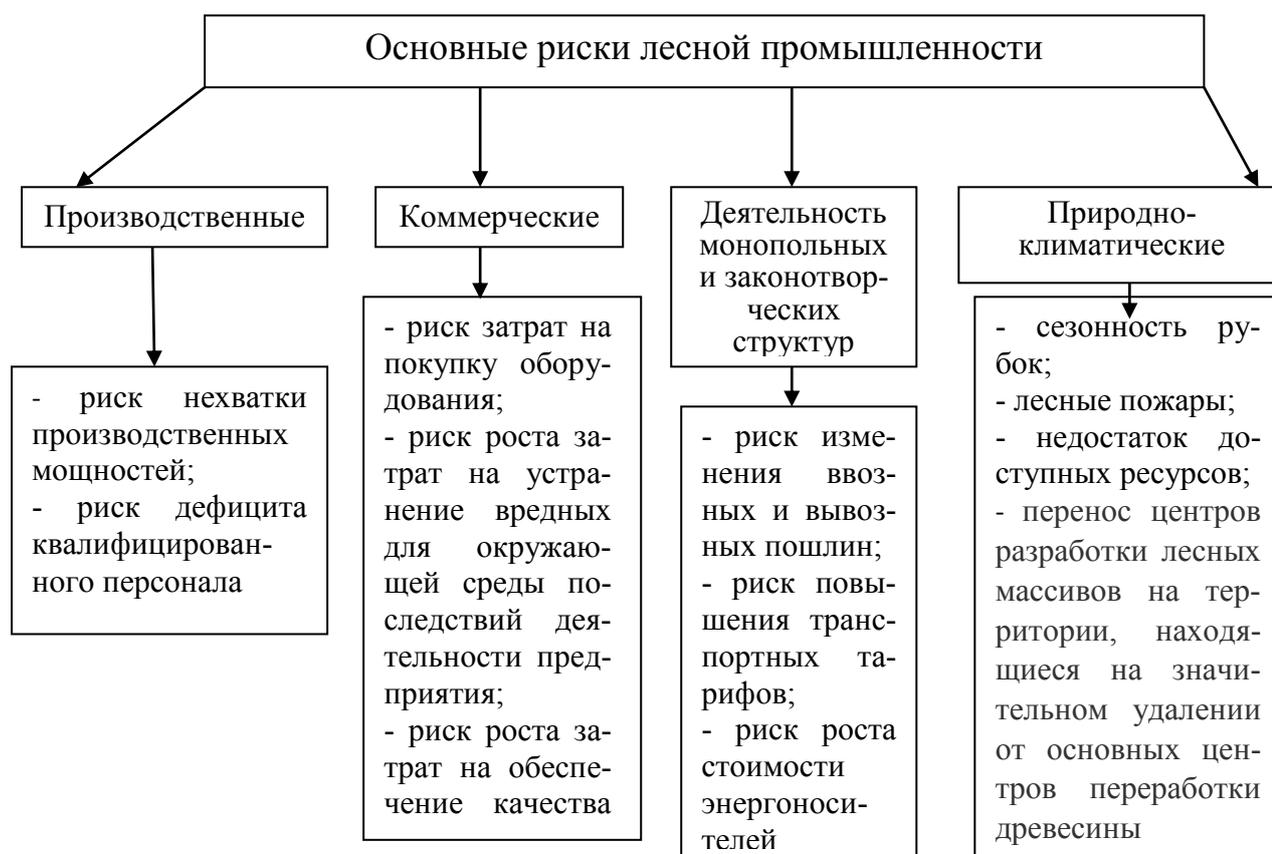
*Для информационной поддержки решения задачи оптимизации лесотранспортной системы предложено соответствующее математическое описание. Представлена целевая функция эффективности, разработанная с учётом неопределённостей, в качестве которых рассмотрены рискообразующие факторы.*

*The article provides the corresponding mathematical description proposed for information support of the solving the problem of the forest transport system optimization. The objective function of efficiency is presented, developed taking into account the uncertainties, which are considered as risk-forming factors.*

Наличие оптимально развитой транспортной инфраструктуры является тем необходимым условием, без которого невозможно устойчивое развитие территорий [1-2]. Планирование транспортной системы на территории лесного фонда (ТСЛФ) представляет собой многокритериальную задачу, поскольку стоимость её строительства и эксплуатации, экологическая, социальная и техническая эффективности противоречивы и несут в себе конфликт целей. Поэтому планируемую ТСЛФ и территорию предполагаемого к освоению лесного фонда необходимо рассматривать как единую

систему, находящуюся в синергетических связях между обозначенными выше составляющими [3].

В свою очередь, эта система подвержена влиянию ряда факторов, характеризующихся неопределенностью. Одними из самых значимых можно назвать рискообразующие факторы. Риски в лесной отрасли – это возможность потерь в результате изменений в экономическом, экологическом, социальном и техническом состоянии лесной отрасли [4]. Наибольшее влияние на предприятия лесной отрасли оказывают риски, приведенные на рисунке.



Классификация рисков в лесной отрасли

Так как основным критерием оценки любой системы является ее эффективность (отношение результата к затратам), нами предлагается прогнозировать эффективность функционирования планируемой ТСЛФ с учетом эколого-экономических показателей и факторов риска, сопровождающих проект. Качественно это может быть выражено как достижение максимума всех потенциальных доходов с учетом влияния рискообразующих факторов.

С учётом данных источника [5] количественно целевая функция эффективности ТСЛФ  $\mathcal{E}_{\text{эф}}^{\text{п}}$  может представлять собой суммарное значение итогового функционала  $\mathcal{E}^{\text{эф}}$  и  $\mathcal{E}(T)$  – прогнозной величины, определяющей степень влияния рискообразующих факторов на эффективность планирования ТСЛФ за период освоения лесного фонда  $T$ . Итоговый функционал  $\mathcal{E}^{\text{эф}}$  может быть представлен как отношение чистой текущей стоимости (ЧТС), полученной в результате освоения территории лесного фонда за период освоения лесного фонда  $T$ , к суммарным затратам на строительство и эксплуатацию ТСЛФ  $S$ .

В этом случае математическая модель поставленной оптимизационной задачи принимает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E}_{\text{эф}}^{\text{п}} = \mathcal{E}^{\text{эф}} - \mathcal{E}(T); \\ \mathcal{E}^{\text{эф}} = \frac{\text{ЧТС}}{S} \rightarrow \max \\ \mathcal{E}(T) = \sum_{b=1}^B g_b(t); \\ \mathcal{E}(T) = \sum_{t=0}^T \mathcal{E}(t); \\ \mathcal{E}(T) \rightarrow \min; \\ b = 1, \dots, B. \end{array} \right. \quad (1)$$

Приведенные в выражении (1) коэффициенты  $g_b(t)$  должны определяться методом экспертных оценок специалистами лесной отрасли, с их учетом может осуществляться прогноз степени влияния того или иного фактора риска на величину текущего валового дохода по моментам времени  $t$ . В математическую модель должны включаться только те виды рисков  $B$ , которые, по мнению экспертов, оказывают наибольшее влияние на эффективность планируемой ТСЛФ. Следует отметить, что, согласно источнику [4], прогноз влияния рискообразующих факторов на проект планирования ТСЛФ за период освоения лесного фонда должен быть краткосрочным (от 3 до 5 лет).

Чистая текущая стоимость, полученная в результате освоения территории лесного фонда посредством реализации ТСЛФ, по периодам времени  $t$  определяется следующим выражением:

$$\text{ЧТС} = D_T - S, \quad (2)$$

где  $D_T$  – текущий валовый доход от освоения территории лесного фонда, за период времени  $T$ , руб.;

$S$  – планируемые суммарные затраты в результате освоения территории лесного фонда, по периодам времени  $t$ , руб.

Текущий валовый доход в результате освоения территории лесного фонда по периодам времени  $t$  определяется выражением

$$\left\{ \begin{array}{l} D_T = \frac{\sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K [C_i(t) + C_{ij}^{TP}(t)] \cdot Q_{ijk}(t)}{(1+e)^T} - \sum_{t=0}^T E(t) \rightarrow \max \\ E(t) = g_v(t) + g_G(t) + g_w(t) \rightarrow \min \\ D(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K [C_i(t) \cdot (1 \pm g_v(t)) + C_{ij}^{TP}(t) \cdot (1 \pm g_G(t))] \cdot Q_{ijk}(t) (1 - g_w(t)) \\ (i = 1, \dots, m), (j = 1, \dots, n), (k = 1, \dots, K), (t = 0, \dots, T), \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $C_{ij}$  – цена реализации 1 м<sup>3</sup> (или других единиц количества лесных ресурсов) по видам лесных ресурсов с  $i$ -го лесного участка,  $i \in \{1, \dots, m\}$ , (гектара, выдела, м<sup>2</sup>), на  $j$ -й склад (прирельсовый участок, потребителю),  $j \in \{1, \dots, n\}$ , руб.;

$C_{ij}^{TP}(t)$  – транспортные расходы на единицу продукции, руб. на момент времени  $t$ ;

$Q_{ijk}(t)$  – суммарный объем по видам лесных ресурсов с  $i$ -го лесного участка (квартала, выдела, м<sup>2</sup>), на  $j$ -й склад, подлежащий к заготовке и транспортировке  $k$ -м типом транспорта в момент времени  $t$ ,  $k \in \{1, \dots, K\}$ , м<sup>3</sup> (или других единиц количества лесных ресурсов);

$e$  – коэффициент дисконтирования;

$T$  – период освоения территории лесного фонда, лет;

$t$  – время от момента оценки до момента заготовки ресурса,  $t \in \{1, \dots, T\}$ , лет;

$g_w(t)$  – коэффициент оценки влияния ресурсного фактора на объем (отгружаемой) производимой продукции, а также влияние риска недопоставки либо поставки продукции ненадлежащего качества на момент времени  $t$ ;

$g_v(t)$  – коэффициент оценки влияния фактора теневых экономических отношений, а также влияние инфляции на себестоимость (отгружаемой) производимой продукции в момент времени  $t$ ;

$g_G(t)$  – коэффициент оценки влияния законодательного и монопольного фактора на транспортные расходы на момент времени  $t$ ;

$D(t)$  – текущий валовый доход от освоения территории лесного фонда по периодам времени  $t$ , скорректированный на влияние рискообразующих факторов  $B$ , руб.

Планируемые суммарные затраты (максимально допустимые затраты, связанные с лесозаготовками, лесовосстановлением, строительством и эксплуатацией ТСЛФ за период освоения территории лесного фонда) определяются выражением

$$S = \sum_{t=0}^T \frac{(\Pi_3 + \Pi_B + P'_{ij} \cdot \Delta t(t))}{(1+e)^t} \cdot \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) + \sum_{t=0}^T \mathcal{E}(t) \quad \min, \quad (4)$$

где  $\Pi_3$  – приведенные затраты на создание и эксплуатацию ТСЛФ, руб.;

$\Pi_B$  – нормативные затраты на воспроизводство, охрану и защиту лесов, гарантирующие их восстановление на вырубках, выращивание до возраста зрелости, охрану и защиту, руб.;

$P'_{ij}$  – омертвление актива лесного хозяйства (нереализация) от неосвоения территории лесного фонда ввиду отсутствия ЛДС, на 1 м<sup>3</sup> (гектар, выдел, м<sup>2</sup>) в момент времени  $t$ , руб.;

$\Delta t$  – период неосвоения территории лесного фонда.

При реализации предложенной нами математической модели оценки эффективности ТСЛФ следует учитывать следующие ограничения

1. Окупаемость проекта планирования ТСЛФ:

$$\sum_{t=0}^T \frac{(\Pi_3 + \Pi_B + P'_{ij} \cdot \Delta t(t))}{(1+e)^t} \left(1 + \frac{1}{(1+e)^T}\right) + \sum_{t=0}^T \mathcal{E}(t) \leq \Pi_{\max}, \quad (5)$$

где  $\Pi_{\max}$  – финансовые возможности предприятия.

2. Расстояние между  $i$ -м лесным участком и  $j$ -м складом сырья (согласно источнику [4], эффективное плечо вывозки лесного ресурса от  $i$ -го лесного участка до  $j$ -го склада сырья не должно превышать 120 км), определяющее транспортную доступность лесоучастков:

$$L_{ij} \leq 120, \quad (6)$$

где  $L_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м лесным участком и  $j$ -м складом сырья, км.

3. Естественную неотрицательность грузопотоков:

$$Q_{ijk}(t) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad t = 0, \dots, T; \quad k = 1, \dots, K. \quad (7)$$

4. Требование непрерывного, неистощимого лесопользования с учетом влияния рискообразующих факторов:

$$\begin{aligned} & \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L ((Q_{ijk}(1 - g_w)(t + 1)l [C_i(1 \pm g_b) + \\ & + C_{ij}^{TP}(1 \pm g_G)](t + 1)l - \Pi_3(t + 1)l - \Pi_B(t + 1)l - P'_{ij}\Delta t(t + 1)l) - \\ & - \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L ((Q_{ijk}(1 - g_w)(t)l [C_i(1 \pm g_b) + C_{ij}^{TP}(1 \pm \\ & \pm g_G)](t)l - \Pi_3(t)l - \Pi_B(t)l - P'_{ij}\Delta t(t)l) \geq 0, \quad l = 1, \dots, L, \quad (8) \end{aligned}$$

где  $l$  – номер хозяйственной секции (породы).

В заключение можно отметить, что с учетом краткосрочности прогнозирования эффективности функционирования лесотранспортных систем итоговый функционал (1)–(8) должен корректироваться на влияние риск-образующих факторов  $E(t)$  каждый период времени  $t$ .

*Библиографический список*

1. От переходного периода к трансформации: устойчивое и всеобъемлющее развитие в Европе и Центральной Азии // Докл. Европ. экон. комиссии ООН. – Нью-Йорк: Женева, 2012. – 156 с.
2. Broman G. I. and Robert K.-H. A framework for strategic sustainable development // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 140. – P. 17-31.
3. Ковалев Р. Н., Гуров С. В. Планирование транспортных систем лесных предприятий в условиях многоцелевого лесопользования: моногр. – Екатеринбург, 1996. – 250 с.
4. Ковязин В. Ф., Романчиков А. Ю. Проблема кадастровой оценки лесных земель с учетом инфраструктуры лесного фонда // Записки Горного института. – СПб, 2018. – Т. 229. – С. 98–104.
5. Тыртышный Н. Н. Управление логистическими рисками при перевозке грузов морским транспортом: дис. ... канд. экон. наук / Н. Н. Тыртышный. – Ростов-н/Д, 2013.

УДК 625.711.84

И. Н. Кручинин, Я. И. Абрамов  
(I. N. Kruchinin, Y. I. Abramov)  
УГЛТУ, Екатеринбург  
(USFEU, Yekaterinburg)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ  
(INFORMATION TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF FOREST  
AUTOMOBILE ROADS)**

*В представленной работе выполнен анализ современных методов и программных средств проектирования лесовозных дорог. Предложены достаточно развитые программные продукты и методы моделирования и оптимизации, которые могут эффективно использоваться для проектирования лесных лесовозных дорог.*

*In the presented work, the analysis of modern methods and software for the design of forest roads is carried out. Sufficiently developed software products*