

УДК 625.711.84.003

В. В. Савельев**МЕТОДИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОДОРОГ**

Показана необходимость разработки математических моделей и программ определения стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог. Приведены методика и математические модели определения стоимости строительства дорожных одежд.

Ключевые слова: лесовозные автодороги, дорожные одежды, математические модели, стоимость строительства.

Введение. Многие лесные районы Российской Федерации не имеют или располагают незначительными запасами качественных местных каменных материалов, пригодных для строительства покрытий лесовозных дорог. Вывозка лесоматериалов по лесовозным автомобильным дорогам без капитальных покрытий связана со значительными затратами материальных средств. Лесовозные дороги с грунтовыми и грунтовыми улучшенными покрытиями становятся труднопроезжаемыми в весенний и осенний периоды.

Вид и эксплуатационное состояние покрытия существенно влияют на выбор типа лесовозного автопоезда, величину полезной рейсовой нагрузки, скорость движения и расход топлива. При вывозке лесоматериалов по грунтовым неустроенным дорогам допускается значительный перерасход топлива, неэффективное использование автопоездов и высокая ее себестоимость.

Стоимость строительства элементов автомобильных дорог определяется ресурсным, ресурсно-индексным, базисно-индексным или базисно-компенсационным методом по укрупненным показателям или на основании разработки сметной документации.

Для определения стоимости автомобильных дорог составляются локальные сметы на основании объемов всех видов работ, потребности в дорожно-строительных материалах, места и условий их получения и расстояния доставки.

Сметы составляются на основе сметных норм, представляющих собой систему показателей затрат труда, эксплуатации машин, расхода материалов на принятый измеритель. Определение сметной стоимости строительства дорожной одежды представляет собой трудоемкую работу, связанную со специфической номенклатурой видов работ и расходов, с характером использования таких нормативных документов, как СНиПы, ЕНиРы, ГЭСНы и другие нормативы.

Анализ укрупненных показателей стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог (например, приведенных в ОНТП 02-85) и других сметных нормативов (например, ГЭСН 81-02-01-2001, ГЭСН 81-02-27-2001 и др.) показывает, что они составлены для небольшого числа дорожных конструкций и не учитывают тип машин и их производительность, технологию строительства отдельных элементов дороги, качество

применяемых материалов и другие факторы. Кроме того, в связи с инфляцией применение нормативных и справочных документов связано с необходимостью пересчета цен 1980-х годов в цены текущего года с применением коэффициентов, во многих случаях не учитывающих действительное изменение цен по различным видам работ, затратам и расходам.

Цель исследования. Математическое моделирование стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог в связи с типами и конструкциями дорожной одежды, земляного полотна и других элементов дороги.

Теоретическое обоснование и постановка задачи. Стоимость строительства элементов автомобильных дорог определяется ресурсным, ресурсно-индексным, базисно-индексным или базисно-компенсационным методом по укрупненным показателям или на основании разработки сметной документации.

Для определения стоимости автомобильных дорог составляются локальные сметы на основании объемов всех видов работ, потребности в дорожно-строительных материалах, места и условий их получения и расстояния доставки.

Сметы составляются на основе сметных норм, представляющих собой систему показателей затрат труда, эксплуатации машин, расхода материалов на принятый измеритель. Определение сметной стоимости строительства дорожной одежды представляет собой трудоемкую работу, связанную со специфической номенклатурой видов работ и расходов, с характером использования таких нормативных документов, как СНиПы, ЕНиРы, ГЭСНы и другие нормативы.

Анализ укрупненных показателей стоимости строительства лесовозных автомобильных дорог (например, приведенных в ОНТП 02-85) и других сметных нормативов (например, ГЭСН 81-02-01-2001, ГЭСН 81-02-27-2001 и др.) показывает, что они составлены для небольшого числа дорожных конструкций и не учитывают тип машин и их производительность, технологию строительства отдельных элементов дороги, качество применяемых материалов и другие факторы. Кроме того, в связи с инфляцией применение нормативных и справочных документов связано с необходимостью пересчета цен 1980-х годов в цены текущего года с применением коэффициентов, во многих случаях не учитывающих действительное изменение цен по различным видам работ, затратам и расходам.

Для определения стоимости строительства дорожной одежды предлагаются методика и математические модели, учитывающие особенности технологии строительства, толщину слоев, типы, производительность и стоимость дорожно-строительных машин, вид, качество, стоимость и способы улучшения физико-механических свойств материалов, разнообразие способов производства работ и другие местные условия [1].

Математическое моделирование. Стоимость строительства лесовозных автомобильных дорог $C_{ад}$ (в рублях) определяется по формуле

$$C_{ад} = C_{под} + C_{вс} + C_{зн} + C_{до} + C_{впр} + C_{об}, \quad (1)$$

где $C_{под}$ – стоимость подготовительных работ; $C_{вс}$ – стоимость строительства водопропускных сооружений; $C_{зн}$ – стоимость возведения земляного полотна; $C_{до}$ – стоимость устройства дорожной одежды; $C_{впр}$ – стоимость выполнения мероприятий по регулированию водно-теплового режима земляного полотна; $C_{об}$ – стоимость обустройства дороги.

Стоимость подготовительных работ можно определить по формуле

$$C_{\text{под}} = C_{\text{валки}} + C_{\text{обр}} + C_{\text{трел}} + C_{\text{раскр}} + C_{\text{корч}} + C_{\text{раст}} + C_{\text{план}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{валки}}$ – стоимость валки деревьев; $C_{\text{обр}}$ – стоимость обрезки или обрубки сучьев; $C_{\text{трел}}$ – стоимость трелевки деревьев или хлыстов; $C_{\text{раскр}}$ – стоимость раскряжевки хлыстов на сортименты; $C_{\text{корч}}$ – стоимость корчевки пней и срезки пней заподлицо с землей; $C_{\text{раст}}$ – стоимость снятия растительного слоя; $C_{\text{план}}$ – стоимость планировки поверхности.

Стоимость возведения земляного полотна из боковых резервов определяется по формуле

$$C_{\text{зн}} = \sum_{m=1}^{n_{\text{сл}}} \left\{ C_{\text{рп.м}} + C_{\text{разр.м}} + C_{\text{упл.м}} \right\} C_{\text{пл.зн}} + C_{\text{пл.р}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{рп.м}}$ – стоимость разработки и перемещения грунта m -го слоя; $C_{\text{разр.м}}$, $C_{\text{упл.м}}$ – стоимости разравнивания и уплотнения грунта m -го слоя; $C_{\text{пл.зн}}$ – стоимость планировки поверхности и откосов насыпи; $C_{\text{пл.р}}$ – стоимость планировки боковых резервов; $n_{\text{сл}}$ – количество слоев грунта.

Стоимость устройства дорожной одежды нежесткого типа:

$$C_{\text{дор}} = \sum_{i=1}^n \left(C_{\text{см.и}} + C_{\text{тр.и}} + \sum_{j=1}^k C_{\text{устр.ij}} \right), \quad (4)$$

где $C_{\text{см.и}}$ – стоимость дорожно-строительных материалов i -го слоя; $C_{\text{тр.и}}$ – стоимость транспортирования материалов i -го слоя; $C_{\text{устр.ij}}$ – стоимость выполнения j -ой технологической операции при устройстве j -го слоя; n – количество слоев дорожной одежды; k – количество технологических операций при устройстве каждого слоя дорожной одежды.

Стоимость любой технологической операции $C_{\text{то}}$ при подготовительных работах, возведении земляного полотна и устройстве дорожной одежды:

$$C_{\text{то}} = N_{\text{мс}} C_{\text{мс}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{мс}}$ – количество машино-смен (человеко-дней) при выполнении технологической операции; $C_{\text{мс}}$ – стоимость машино-смены дорожно-строительной машины или тарифная ставка рабочих, р.

Количество машино-смен (человеко-дней) определяется по формулам

$$N_{\text{мс}} = Q / P_{\text{см}}; \quad (6)$$

$$N_{\text{мс}} = Q / H_{\text{выр}}, \quad (7)$$

где Q – объем работ (м^3 , м^2 и т.п.); $P_{\text{см}}$, $H_{\text{выр}}$ – производительность и норма выработ-

ки машины, механизма или рабочего в смену (м^3 , м^2 и т.п.).

Норма выработки вычисляется по формуле

$$H_{\text{выр}} = T V k_u / H_{\text{вр}}, \quad (8)$$

где T – продолжительность рабочей смены, ч; V – единица объема работ (100 м^3 , 1000 м^2 и т.п.); k_u – коэффициент использования рабочего времени; $H_{\text{вр}}$ – норма времени для выполнения единицы объема работ (маш.-час, чел.-час).

По аналогичным моделям определяются стоимости строительства земляного полотна по другим технологиям, водопропускных сооружений и обустройства дороги.

Рациональный вариант решения технической задачи определяют из зависимости, учитывающей прочностные, транспортные, монтажные, эксплуатационные и другие требования, предъявляемые к дорожным одеждам. В этом случае целевая функция критерия оптимальности имеет вид

$$C_{1\text{м}^3} = (C_{\text{дор}} + C_{\text{тр}}) k_n \rightarrow \min, \quad (9)$$

где $C_{1\text{м}^3}$ – себестоимость вывозки 1 м^3 лесоматериалов, р.; $C_{\text{дор}}$, $C_{\text{тр}}$ – дорожная и транспортная составляющие себестоимости вывозки 1 м^3 лесоматериалов, р.; k_n – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$C_{\text{дор}} = L_d (0,01 n_{\text{ам}} C_{1\text{км}} / \kappa + C_{\text{ср}}) Q_n, \quad (10)$$

где L_d – длина дороги, км; $C_{1\text{км}}$ – стоимость 1 км дороги, р.; $n_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений от стоимости покрытия, %; κ – часть года, составляющая расчетный период; $C_{\text{ср}}$ – затраты на содержание и текущий ремонт 1 км покрытия в течение расчетного периода, р.; Q_n – объем вывозки лесоматериалов за расчетный период, м^3 .

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{мс}} / \Pi_{\text{см}}, \quad (11)$$

где $C_{\text{мс}}$ – себестоимость машино-смены лесовозного автопоезда, р.; $\Pi_{\text{см}}$ – сменная производительность лесовозного автопоезда, $\text{м}^3/\text{смену}$.

Для оценки эффективности инвестиций и выбора наиболее эффективного проекта применяются статические и динамические методы.

Статические методы оценки эффективности инвестиций применяются для небольших по размерам инвестиций, по которым сложные расчеты экономически нецелесообразны и для которых важна скорость принятия решений.

Приведенные затраты $S_{\text{нр}}$ определяются по формуле

$$S_{\text{нр}} = C_i + E_n K_i, \quad (12)$$

где C_i – себестоимость (текущие затраты) вывозки лесоматериалов по i -му варианту, р.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_i – капитальные вложения на строительство дороги по i -му варианту, р.

$$K = C_{1км} L_d; \quad (13)$$

$$C = C_{1м^3} Q_n + \mathcal{E}_n, \quad (14)$$

где \mathcal{E}_n – эксплуатационные потери, р.

$$\mathcal{E}_n = A N_{pt} \bar{C}, \quad (15)$$

где A – количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), определяемое по формуле (2.8) [2]; N_{pt} – количество автомобилей, пропускаемых по покрытию за срок эксплуатации; \bar{C} – средние потери от одного ДТП [1], р.

$$A = 1,13 \sqrt{\omega_{ycm} / L}. \quad (16)$$

Сравнительная эффективность E_c при ограниченном количестве вариантов капитальных вложений

$$E_c = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (17)$$

где C_1, C_2, K_1, K_2 – соответственно текущие затраты (себестоимость) и капитальные вложения по первому и второму вариантам, р.

Срок окупаемости $T_{ок}$ капитальных вложений

$$T_{ок} = K / (C_1 - C_2), \quad (18)$$

где K – капитальные вложения, р.

Общая экономическая эффективность $\mathcal{E}_{общ}$ капитальных вложений

$$\mathcal{E}_{общ} = P / K, \quad (19)$$

где P – годовая прибыль, р.

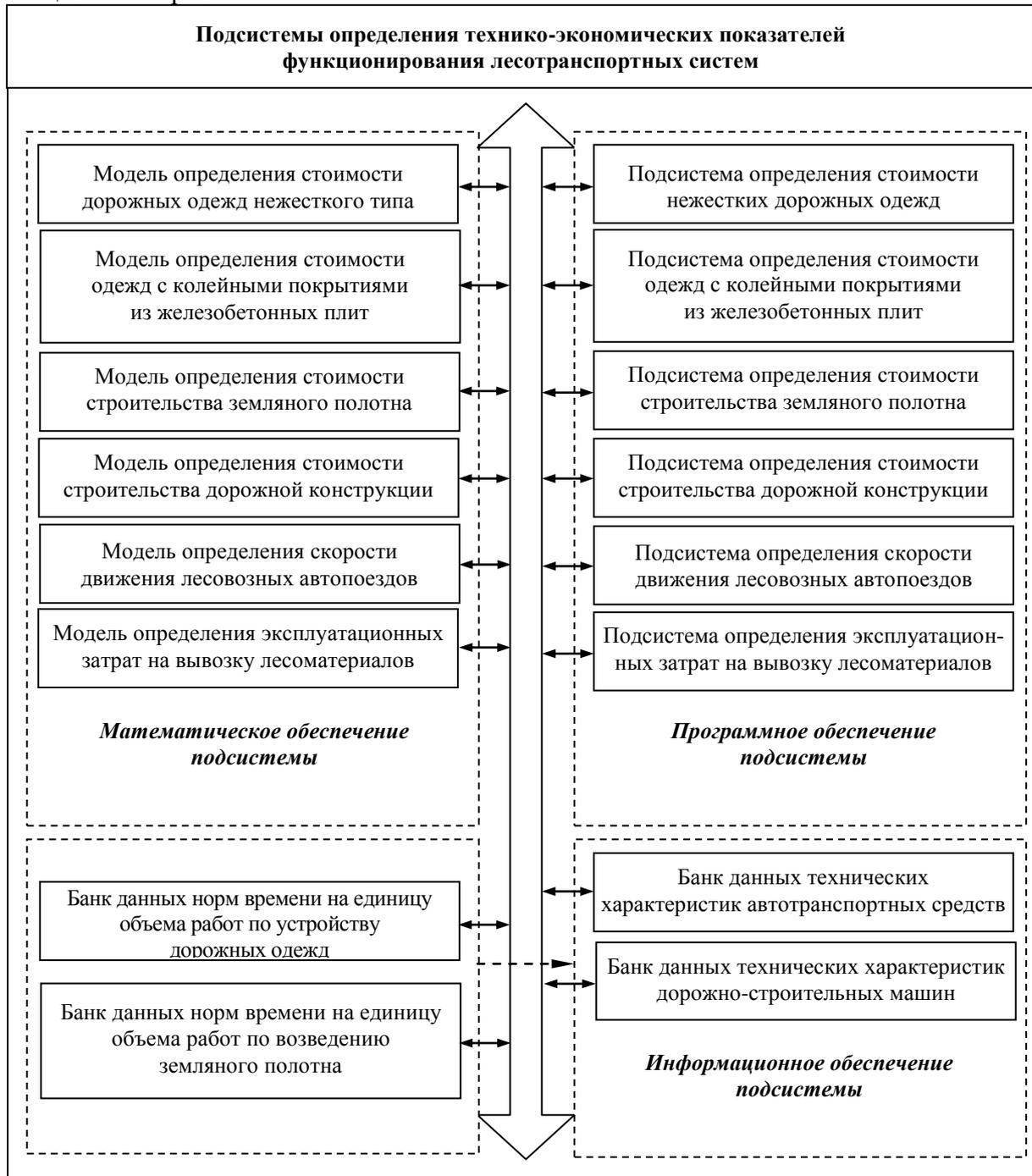
Для сравнения вариантов вместо абсолютных величин капитальных K , эксплуатационных C и приведенных S_{np} затрат применяются удельные показатели:

$$K_{y\partial} = K / Q_n; \quad C_{y\partial} = C / Q_n; \quad S_{y\partial} = S_{np} / Q_n. \quad (20)$$

Предлагаемые методика и математические модели определения стоимости лесовозной автомобильной дороги являются основой для разрабатываемых нами алгоритмов и компьютерных программ, реализующих подсистему определения технико-экономических показателей функционирования лесотранспортных систем (см. рис.) системы автоматизированного проектирования лесовозно-лесохозяйственных дорог (САПР-ЛЛД) [3].

Динамические методы оценки эффективности инвестиций основаны на учете фактора времени, т. е. изменении затрат и результатов в течение инвестиционного цикла и применяются при возможности прогнозирования объемов производства и реализации продукции, учета факторов риска и неопределенности. При этом определяются чистый

дисконтированный доход $ЧДД$, индекс доходности $ИД$, срок окупаемости $T_{ок}$ инвестиционного проекта.



Выводы. Для решения данной задачи ведется разработка необходимых методик, математических моделей, алгоритмов и компьютерных программ. Написаны компьютерные программы, позволяющие выполнить расчеты на прочность нежестких и жестких дорожных одежд [3, 4], определить стоимость подготовительных работ, возведения земляного полотна из боковых резервов, строительства дорожных одежд низшего и пе-

реходного типов [1]. Продолжается разработка компьютерных программ для определения стоимости возведения земляного полотна другими способами и нежестких дорожных одежд облегченного и капитального типа.

Список литературы

1. Савельев, В. В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / В. В. Савельев. – Йошкар-Ола, 2006. – 516 с.
2. Курьянов, В. К. Совершенствование проектных решений сборных покрытий автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования / В. К. Курьянов, Д. Н. Афоничев. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – 180 с.
3. Савельев, В. В. Комплекс программ по автоматизированному расчету дорожных одежд нежесткого типа / В. В. Савельев // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006610216; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.01.2006.
4. Савельев, В. В. Система автоматизированного проектирования железобетонных плит для сборных и сборно-разборных колеиных покрытий автомобильных дорог / В. В. Савельев // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2005612139; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.08.2005.

Статья поступила в редакцию 16.01.09.

V. V. Savelyev

**METHODOLOGY AND MATHEMATIC MODELS FOR DEFINING THE COST OF
TIMBER LOGGING ROADS CONSTRUCTION**

The necessity to develop mathematic models and programs for defining the cost of timber logging road construction is shown. Methodology and mathematic models for defining the cost of road base construction are given.

Key words: *logging roads, road base, mathematic models, cost of construction.*

САВЕЛЬЕВ Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и оснований МарГТУ. Область научных исследований – моделирование и оптимизация объектов сухопутного транспорта леса, автоматизированное проектирование лесовозных автомобильных и железных дорог; исследование напряженно-деформированного состояния покрытий из железобетонных плит. Автор более 50 публикаций.