

## ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ

Логачев В.Н.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), [rivelenasoul@mail.ru](mailto:rivelenasoul@mail.ru)

В настоящее время строительство лесных автомобильных дорог в РФ осуществляется в неустойчивых производственно-экономических условиях, обусловленных не только вероятностным характером дорожно-строительного производства в целом и ресурсопотребления в частности, но и существующей тенденцией роста стоимости ресурсов и увеличения ресурсоемкости объектов. Для повышения надёжности принимаемых организационно-технологических решений прогнозирование стоимости дорожно-строительных материалов выполняется в пределах доверительного интервала с заданным уровнем надёжности. Такой подход позволяет снизить степень риска, связанного с непредвиденным повышением отпускных цен на строительные материалы или увеличением транспортных затрат. Для оптимизации организационно-технологических решений по обеспечению строительства, ремонта и содержания лесных автомобильных дорог материалами, полуфабрикатами, горюче-смазочными материалами предложена математическая модель прогноза стоимости ресурсов на период производства дорожно-строительных работ.

Ключевые слова: лесная автомобильная дорога, стоимость, строительные материалы, полуфабрикаты, горюче-смазочные материалы, ресурсы.

## PROBABILISTIC AND STATISTICAL MODEL TO PREDICT THE UNIT COST OF PRODUCTION RESOURCES

Logachev V.N.

Voronezh State Academy of Forestry Engineering and Technologies (394087, Voronezh, street Timiryazeva, 8) [rivelenasoul@mail.ru](mailto:rivelenasoul@mail.ru)

Currently, the construction of forest roads in the Russian Federation is in unstable production and economic conditions due not only to the probabilistic nature of the road construction industry in general and resource consumption in particular, but also the current trend of rising resource costs and increase resource consumption objects. To improve the reliability of the adopted organizational and technological solutions forecasting the cost of road-building materials is performed within the confidence interval with a given level of reliability. This approach reduces the risk associated with an unexpected increase in selling prices of building materials or an increase in transportation costs. In order to optimize organizational and technological solutions to ensure the construction, repair and maintenance of forest roads materials, semi-finished goods, fuels and lubricants, a mathematical model for prediction of the resource cost of production for the period of road construction works.

Keywords: forest road, cost, building materials, semi-finished goods, fuels and lubricants, resources.

**Введение.** Оптимизация организационно-технологических решений по обеспечению строительства, ремонта и содержания лесных автомобильных дорог материалами, полуфабрикатами, ГСМ невозможна без математической модели прогноза стоимости ресурсов на период производства дорожно-строительных работ.

**Теоретический анализ.** Средний рост стоимости строительных материалов и полуфабрикатов весьма неравномерен, изменяется от 24,8 до 36,4% в год. Рост отпускной стоимости каменных материалов составляет в квартал на щебень Ф 40-70 в среднем 10 р./м<sup>3</sup>, на щебень Ф 20-40 мм – 12,77 р./м<sup>3</sup>, на щебень Ф 5-20 мм – 14,72 р./м<sup>3</sup>. Стоимость асфальтобетонной смеси возрастает в среднем на 11%, песка на 10,1%, песчано-гравийной смеси – на 8,2%, битума – на 7,2% в квартал (рис. 1) [1; 2].

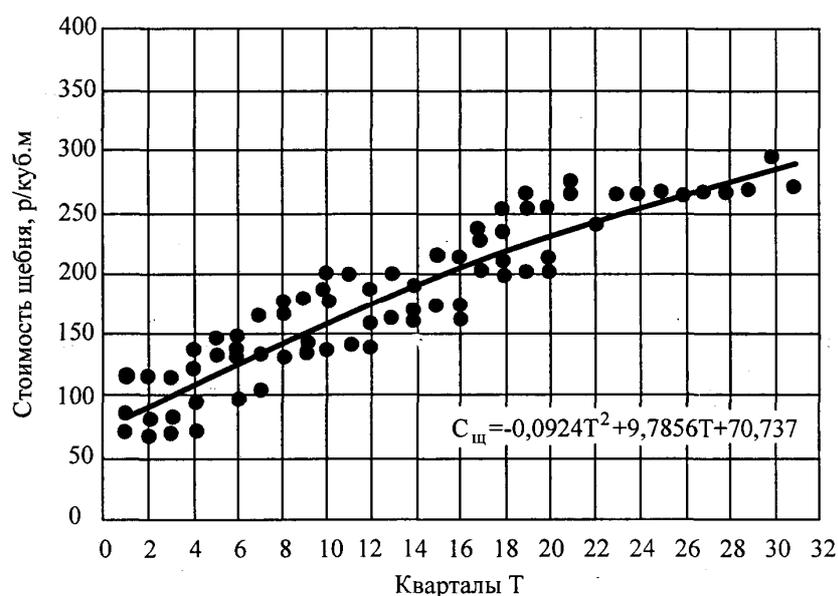


Рисунок 1 – Изменение стоимости щебня Ф 40-70 мм за период 2006-2013 гг.

Изменение удельной стоимости строительных материалов и полуфабрикатов  $C(t)$  во времени  $T$  можно описать параболической функцией

$$C(t) = aT^2 + bT + c, \quad (1)$$

где  $a, b, c$  - коэффициенты уравнения, определяются методом наименьших квадратов по исходному ряду за предшествующие 4-5 лет.

Значения коэффициентов, полученные путём обработки статистических данных за период 2010-2013 гг., приведены в таблице 1. Следует отметить, что приведенные коэффициенты имеют региональный характер и характерны для исследуемого периода времени [3].

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения (1) за период 2008-2013 гг.

Наименование материала или полуфабриката	Единица измерения	a	b	c
Щебень Ф 5-20 мм	р/м <sup>3</sup>	0,4668	2,1716	120,58
Щебень Ф 20-40 мм		0,3159	2,5995	105,87
Щебень Ф 40-70 мм		0,0168	7,508	78,459
Песчано-гравийная смесь		0,4883	5,1336	87,882
Асфальтобетонная смесь	р/т	0,818	14,721	219,98
Битум БНД 60/90		-5,9661	294,62	-69,68

Известно, что сметная стоимость дорожного строительства в значительной степени (30...50%) определяется транспортными расходами. Доля затрат на транспортировку материалов достигает 50...68% (табл. 1) при дальности транспортировки 80...90 км превышает отпускную стоимость строительных материалов. Анализ динамики удельных транспортных

затрат показал, что рост стоимости перевозки 1 т груза составляет в среднем 4...6% в квартал (рис. 2).

Изменение удельной стоимости автотранспортных затрат  $C_{ат}(t)$  описывается параболической функцией

$$C_{ат}(t) = aT^2 + bT + c, \quad (2)$$

где  $a, b, c$  - коэффициенты уравнения, определяются методом наименьших квадратов по исходному ряду с установившейся закономерностью изменения автотранспортных затрат. Значения коэффициентов, полученные путём обработки данных за период 2010-2013 гг., приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов уравнения (2) за период 2010-2013 гг.

Дальность перевозки материалов, км	Единица измерения	a	b	c
5	р/т	0,0473	0,29	16,541
10		0,0420	1,0574	27,138
20		0,1145	1,4259	51,994
30		0,0771	3,4301	71,136
50		0,2001	4,2163	110,23
60		0,0897	6,7088	118,77
75		0,1176	7,857	139,24
100		0,1716	9,6681	173,66

Исследования зависимости удельных автотранспортных затрат от дальности перевозки грузов в ценах 2012 г. показали, что она имеет линейный характер (рис. 2)

$$C_{ат} = aL + b, \quad (3)$$

где  $C_{ат}$  - удельные автотранспортные затраты, р/т;  $L$  - дальность транспортировки груза, км;  $a$  и  $b$  - коэффициенты линейного уравнения зависят от класса груза (табл. 3).

Для обоснования оптимальной грузоподъёмности автосамосвалов выполнен анализ зависимости стоимости эксплуатации автомобиля от его грузоподъёмности (рис. 3). Исследования показали, что с увеличением грузоподъёмности  $G$  стоимость эксплуатации автомобилей-самосвалов возрастает по зависимости (1). Коэффициент корреляции равен 0,87 [4-6].

$$C_{ат} = 217,99 \ln(G) - 91,739. \quad (4)$$

Анализ затрат на транспортировку каменных материалов для лесных дорог показал, что перемещение щебня на расстояние более 100 км производится с использованием железнодорожного транспорта. Для обоснования математической модели прогнозирования транспортных затрат выполнен анализ динамики железнодорожных тарифов на перевозку каменных материалов за период 2008-2013 гг. (рис. 4) [7].



Рисунок 2 – Динамика удельных автотранспортных затрат за период 2008-2013 гг.

Таблица 3 – Значения коэффициентов уравнения (3) в ценах на 1 квартал 2012 г.

Класс груза	a	b
1	2,1755	17,484
2	3,3659	21,462
3	4,3968	28,315
4	5,3076	33,532

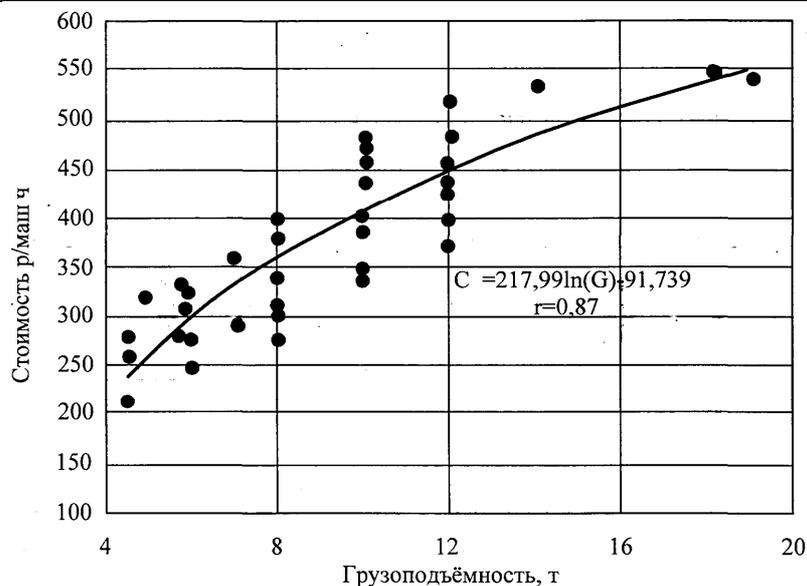


Рисунок 3 – Зависимость стоимости эксплуатации автосамосвала от его грузоподъёмности (в ценах 1 квартала 2012 г.)

Удельная стоимость транспортировки тонны материала по железной дороге

$$C_{\text{ж}}(t) = -0,0002T^2 + 0,0351T + 0,0082. \quad (5)$$

Исследования, выполненные в [2-4] в области ценообразования в строительстве, показали, что сметная стоимость строительных объектов распределяется по нормальному закону.

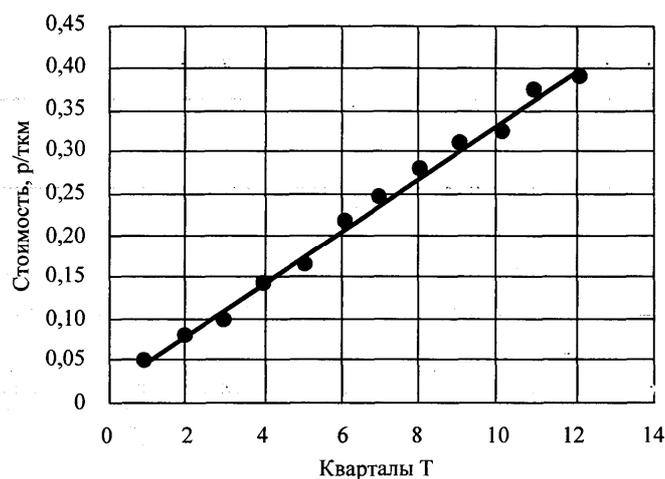


Рисунок 4 – Динамика удельной стоимости железнодорожных перевозок за период 2008-2013 гг.

**Методика.** Для повышения надёжности принимаемых организационно-технологических решений представляется перспективным прогнозирование стоимости дорожно-строительных материалов выполнять в пределах доверительного интервала с заданным уровнем надёжности. Такой подход позволяет снизить степень риска, связанного с непредвиденным повышением отпускных цен на строительные материалы или увеличением транспортных затрат. На основании статистической обработки центрированных значений стоимости материалов, полуфабрикатов и транспортных затрат относительно выявленных трендов автором установлено, что стоимость  $f(C)$  распределяется по нормальному закону

$$f(C) = \frac{1}{\sigma_c \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{C(t) - C_{cp}(t)}{\sigma_c} \right)^2}, \quad (6)$$

где  $C(t)$  - стоимость в t-й момент времени;  $C_{cp}(t)$  - стоимость в t-й момент времени согласно выявленному тренду (1) или (2);  $\sigma_c$  - среднее квадратичное отклонение стоимости относительно установленного тренда.

Проверка гипотезы нормальности распределения центрированных значений сметной стоимости строительных материалов и транспортных затрат выполнена с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для всех фактических выборок фактическое значение критерия изменяется от 0,78 до 0,98 и не превышает допустимое значение.

Выполненные исследования позволили предложить вероятностную модель прогнозирования удельных затрат в основные производственные фонды для конкретного дорожно-строительного объекта на основе мониторинга и статистической оценки характера изменения стоимости материалов и услуг:

$$C_{\text{пр}}^p(t) = (aT^2 + bT + c) \pm \Phi_p \sigma_{\text{пр}}, \quad (7)$$

где  $C_{\text{пр}}^p(t)$  - прогнозируемая, с заданной надёжностью  $P$ , на период строительства стоимость материала или полуфабриката;  $\Phi_p$  - нормируемое отклонение;  $\sigma_{\text{пр}}$  - среднее квадратичное отклонение ошибки прогноза сметной стоимости производственного ресурса;  $a, b, c$  - коэффициенты, выбираются методом наименьших квадратов при устойчивой тенденции изменения стоимости за предшествующие 4-5 лет.

Исходный для прогноза ряд стоимости материала или полуфабриката  $C_M$  формируется для принятой транспортной схемы снабжения строительного объекта в хронологической последовательности [7; 8]. Расчёт удельной стоимости ресурсов выполняется с учётом транспортных и погрузо-разгрузочных работ

$$C_M(t) = C_O(t) + C_{\text{тр}}(t) + C_H(t), \quad (8)$$

где  $C_M(t)$  - стоимость материала в момент времени  $t$ ;  $C_O(t)$  - отпускная стоимость материала;  $C_{\text{тр}}(t)$  - транспортные расходы на перевозку материала с погрузо-разгрузочными работами;  $C_H(t)$  - наценка организаций обслуживания и сбыта.

Среднее квадратичное отклонение  $\sigma_{\text{пр}}$  фактической сметной стоимости материала относительно установленного тренда типа (3) определяется

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum (C_M(t) - C_{\text{пр}}(t))^2}{n}}, \quad (9)$$

где  $C_{\text{пр}}(t)$  - стоимость материала, рассчитанная по формуле установленного тренда в момент времени  $t$ ;  $n$  - количество членов исходного временного ряда стоимости материала.

Так как сметная стоимость материала подчинена нормальному закону распределения, её значение в любой момент времени строительства  $t$  находится в пределах доверительного интервала [9; 10]

$$C_{\text{пр}}^p(t) - \Phi_p \sigma_{\text{пр}} \leq C_{\text{пр}}^p(t) \leq C_{\text{пр}}^p(t) + \Phi_p \sigma_{\text{пр}}. \quad (10)$$

Предложенная математическая модель прогнозирования удельных затрат в производственные ресурсы (6) позволяет с заданным уровнем надёжности описать динамику изменения стоимости строительных материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов в строительный период, разработать оптимальные организационно-технологические решения по ресурсному обеспечению технологических процессов с целью снижения сметной стоимости строитель-

НЫХ ОБЪЕКТОВ.

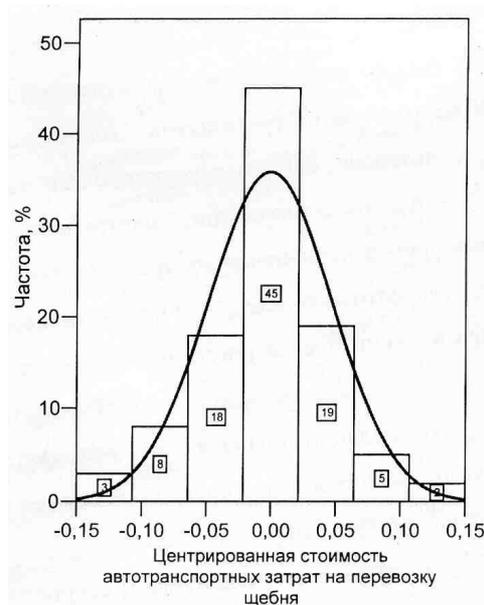


Рисунок 5 - Гистограмма и закон распределения центрированных значений стоимости транспортных затрат на перевозку щебня

**Вывод.** Предложенная вероятностная модель прогнозирования удельных затрат в основные производственные фонды для конкретного дорожно-строительного объекта на основе мониторинга и статистической оценки характера изменения стоимости материалов и услуг позволяет с заданным уровнем надёжности описать динамику изменения стоимости строительных материалов, полуфабрикатов и энергоресурсов в строительный период, разработать оптимальные организационно-технологические решения по ресурсному обеспечению технологических процессов с целью снижения сметной стоимости строительных объектов.

### Список литературы

1. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. - Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, № 420-2011.
2. Кондрашова Е.В. Определение эффективности транспортной работы лесовозной автомобильной дороги // Бюллетень транспортной информации (БТИ). Информационно-практический журнал. – 2009. - № 9 (171). – С. 25-27.
3. Кондрашова Е.В. Повышение эффективности транспортной работы автомобильных дорог в лесном комплексе / Е.В. Кондрашова, А.М. Волков. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. университета, 2010. – 232 с.
4. Курьянов В.К. Повышение эффективности обследования автомобильных дорог в районах лесозаготовок / В.К. Курьянов, Е.В. Кондрашова, Ю.В. Лобанов. – М. : Изд-во РАЕ, 2010.

– 130 с.

5. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Москва : ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
6. Рябова О.В. Совершенствование методов оценки транспортно-экологических качеств автомобильных дорог / О.В. Рябова, Е.В. Кондрашова, А.В. Скрыпников. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. универ., 2005. – 277 с.
7. Скрыпников А.В. К вопросу повышения безопасности движения на лесовозных автомобильных дорогах и дорогах общего пользования] / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.Ю. Губарев, А.Б. Киреев. – М. : ФЛИНТА: Наука, 2012. – 168 с.
8. Скрыпников А.В. Метод оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. - URL: [www.science-education.ru/100-5155](http://www.science-education.ru/100-5155).
9. Скрыпников А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова // Фундаментальные исследования. - 2011. – № 8 (ч. 3). - С. 667-671.
10. Скрыпников А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования (САПР АЛД) / А.В. Скрыпников. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2008. – 387 с.

**Рецензенты:**

Скрыпников А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных технологий моделирования и управления ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж.

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.