

УДК 630.383

**МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ ЗОН ДЕЙСТВИЯ
ПОСТАВЩИКОВ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВЕРОЯТНОСТНОГО
ХАРАКТЕРА ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В.

*ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж,
e-mail: rivelenasoul@mail.ru*

В статье проведён анализ динамики стоимости всех ресурсов строительного рынка автотранспортных затрат и дорожно-строительных материалов. Предложена модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов, позволяющая учитывать вероятностный характер стоимости строительного материала в зависимости от определяющих переменных: отпускной стоимости материалов, транспортных и погрузочно-разгрузочных затрат. Разработана модель для определения показателей скорости движения грузовых автомобилей в зависимости от дорожных условий.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, дорожное строительство, поставщики, стоимость строительных материалов

**MODEL FOR DETERMINING THE ECONOMIC BOUNDARIES OF ZONES
OF SUPPLIERS OF MATERIALS IN THE PROBABILISTIC CHARACTER OF ROAD
CONSTRUCTION TIMBER HIGHWAY**

Kondrachova E.V., Skrypnikov A.V., Skvortcova T.V.

*Voronezh State Academy of Forestry Engineering and Technologies, Voronezh,
e-mail: rivelenasoul@mail.ru*

The article analyzes the dynamics of the value of all resources of the construction market road costs and road construction materials. We propose a model for defining the boundaries of economic zones of the suppliers of materials, allowing to take into account the probabilistic nature of the cost of construction material, depending on the determining variables: the selling price of materials, transport and handling costs. A model for the determination of speed of traffic flow and single car depending on road conditions.

Keywords: timber-roads, road construction, suppliers, cost of construction materials

В связи с переходом на рыночные отношения сложившиеся региональные формы поставки материалов претерпевают существенные изменения, появилось значительное количество организаций – поставщиков материалов и энергоресурсов.

Цель исследования – решение задачи разработки оптимальной схемы снабжения объектов дорожного строительства материалами как никогда актуально. В условиях получения подряда на дорожно-строительные работы на основе торгов, подготовка проектно-сметной документации, в том числе проект организации строительства, производится в весьма сжатые сроки. Поэтому детальную технико-экономическую проработку схемы снабжения строительного объекта, необходимую для определения сметной стоимости строительства, зачастую провести не представляется возможным.

Одним из вариантов решения указанной проблемы является региональное районирование территории по стоимости поставки строительных материалов от существующих каменных или песчаных карьеров и производственных предприятий. Такой подход существенно облегчит процедуру

подготовки схемы снабжения дорожно-строительного объекта производственными ресурсами, однако требует постоянного мониторинга на материалы и транспортные услуги и возможной корректировки при появлении на строительном рынке нового поставщика.

Транспортировка материалов является одним из важнейших элементов строительного процесса. От его успешной организации зависит не только экономичность, но и стоимость дорожно-строительных работ. Транспортные расходы оставляют 30...50% от общей сметной стоимости дорожных работ. А в некоторых случаях приближаются к стоимости самого материала и даже превышают её. Одним из эффективных путей снижения транспортных расходов является использование местных строительных материалов, отвечающих всем нормативным требованиям. Особенно это относится к таким материалам, как щебень, песок, песчано-цементная смесь, которые в значительной степени формируют стоимость строительства объекта.

Регрессионный анализ затрат на снабжение 20 объектов строительства показал, что стоимость строительства основания из

щебня в основном зависит от дальности автотранспортных $L_{ат}$ перевозок

$$\bar{C}_{стр}^{щ} = 4,24L_{ат}^{0,159}. \quad (1)$$

Анализ динамики стоимости ресурсов строительного рынка дорожно-строительных материалов в частности, позволяет сделать вывод о том, что определить однозначно экономические границы зон действия поставщиков каменных материалов на длительный временной интервал невозможно [2].

В современных неустойчивых экономических условиях хозяйствования необходимо использовать такую модель решения задачи, которая позволяет учитывать вероятностный характер стоимости строительного материала в зависимости от определяющих переменных: отпускной стоимости материалов \bar{C}_o , транспортных ($\bar{C}_{ат}$) и погрузочно-разгрузочных затрат $\bar{C}_{п-р}$.

Анализ тренда изменения стоимости материалов показывает, что за время наблюдений имеются отклонения отдельных значений фактической стоимости $\bar{C}_ф$ от соответствующих прогнозируемых величин $\bar{C}_п$ как в большую, так и в меньшую сторону. Это означает, что рост цен происходит неравномерно и его невозможно описать математически точно.

Статистический анализ показал, что отпускная цена щебня и транспортные затраты на автомобильные перевозки имеют нормальный закон распределения. Вследствие этого стоимость щебня на границе зон экономического влияния i -го и j -го поставщиков строительных материалов \bar{C}_{ij} носит нормальный вероятностный характер, находится в пределах доверительного интервала

$$\bar{C}_{i,j} - t_p \cdot \sigma_{i,j} \leq \bar{C}_{i,j} \leq \bar{C}_{i,j} + t_p \cdot \sigma_{i,j}, \quad (2)$$

где $\bar{C}_{i,j}$ – математическое ожидание стоимости щебня на границе зоны экономического влияния i -го и j -го поставщиков; t_p – нормируемое отклонение цены материала; σ_{ij} – среднее квадратичное отклонение цены щебня;

$$\bar{C}_{i,j} = (\bar{C}_{отр} + \bar{C}_{п-р} + \bar{C}_{пр}) K, \quad (3)$$

где \bar{C}_o – отпускная цена на щебень; $\bar{C}_{тр}$ – транспортные затраты; $\bar{C}_{п-р} = 0,32 \cdot \bar{C}_o$ – цена погрузочно-разгрузочных работ; $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий изменение потребности в каменном материале в зависимости от его прочности.

Коэффициент $K_{пр}$ зависит от грунтово-геологических условий района строительства, стоимости щебня, используемого для строительства дорожных одежд.

Анализ конструкций дорожных одежд на дорогах Республики Коми показал, что снижение расхода щебня в основании дорожных одежд можно записать

$$K_{пр} = \frac{7,23}{E_{мин}^{0,241}}, \quad (4)$$

где $E_{мин}$ – минимальный модуль упругости местного щебня осадочных пород в регионе, используемый в основании дорожных одежд.

Удельные транспортные затраты при смешанной схеме перевозки строительных материалов рассчитываются по формуле

$$\bar{C}_{тр} = \sum_{n=1}^N (a + b \cdot L_n^{ат}), \quad (5)$$

где $L_n^{ат}$, N , K – соответственно протяжённость n -го автомобильного маршрута и их количество в транспортной схеме поставки материала от поставщика на строительный объект или предприятие; a , b – коэффициенты линейных уравнений зависимости транспортных затрат от дальности перевозки материала.

Среднее квадратичное отклонение цены материала для каждого поставщика определяется с учётом веса каждого вида затрат в зависимости

$$\sigma = \sqrt{(D_o \eta_o + D_{тр} \eta_{тр} + D_{п-р} \eta_{п-р})}, \quad (6)$$

где D_o , $D_{тр}$, $D_{п-р}$ – дисперсии отпускной цены, транспортных затрат и цены погрузочно-разгрузочных работ; η_o , $\eta_{тр}$, $\eta_{п-р}$ – доля (вес) затрат в общей стоимости материала на границе зоны экономического влияния. Так, цена погрузочно-разгрузочных работ определяется по нормативу от отпускной цены материала, можно принять $D_{п-р} = D_o$ [2].

Доля (вес) отпускной цены и транспортных затрат в общей стоимости материала определяется дальностью его транспортировки от поставщика на параллельный объект или склад L , эксплуатационной скоростью перевозки V грузоподъёмностью автомобиля G . Исследования зависимости доли транспортных затрат в стоимости щебня показали, что она имеет нелинейный характер, при дальности перевозки более 100 км транспортные расходы превышают отпускную стоимость материала (рис. 1). Доля транспортных затрат снижается с увеличением грузоподъёмности автомобиля (рис. 2).

Повышение эксплуатационной скорости автомобилей приводит к снижению доли транспортных затрат в общей стоимости щебня (рис. 3).

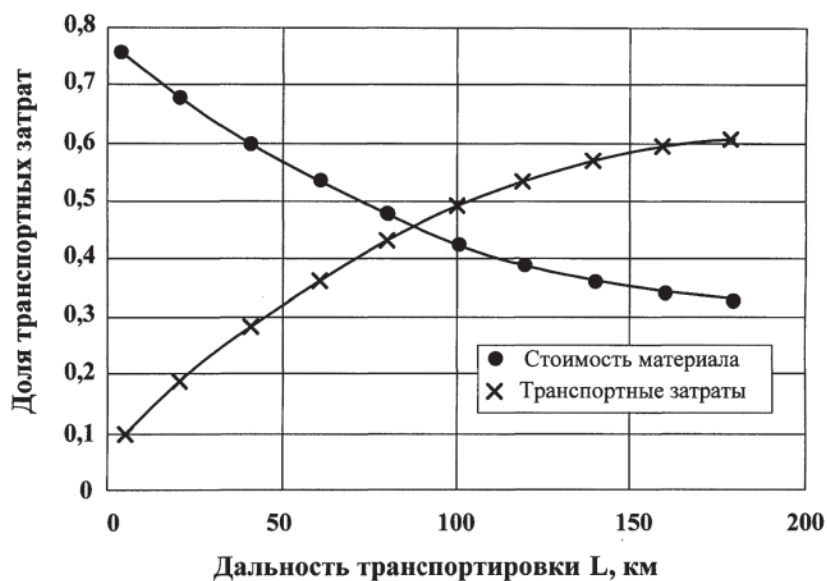


Рис. 1. Зависимость доли транспортных затрат в общей стоимости щебня от дальности перевозки

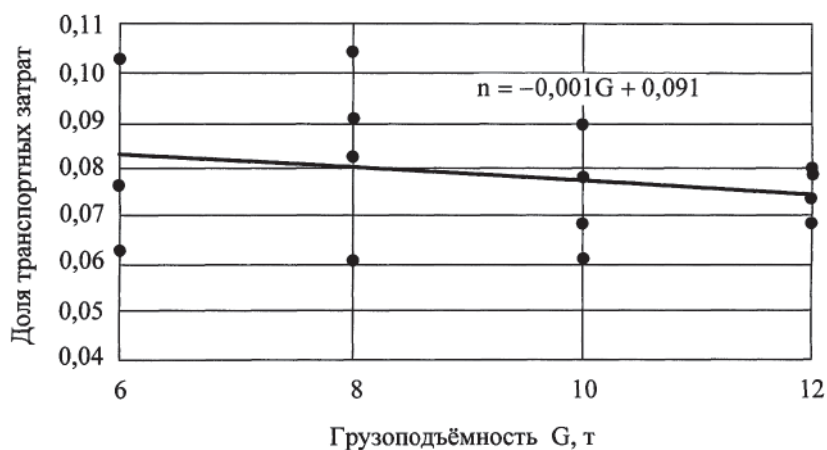


Рис. 2. Зависимость доли транспортных затрат в общей стоимости щебня от грузоподъёмности автосамосвала (дальность перевозки составляет 20 км)

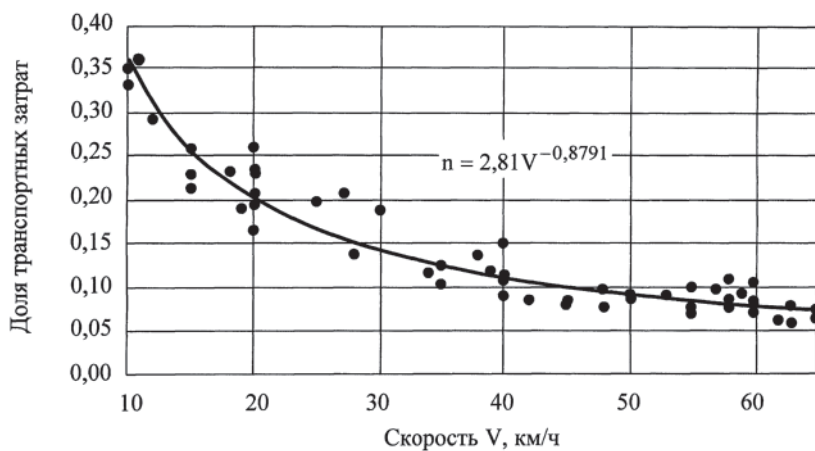


Рис. 3. Зависимость доли транспортных затрат в общей стоимости щебня от скорости автосамосвала (дальность перевозки составляет 20 км)

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что доля транспортных расходов в общей стоимости строительных материалов имеет нелинейный характер, для каменных материалов Республики Коми удовлетворительно описывается функцией вида

$$\eta_{\text{тр}} = 0,132L^{0,86}G^{-0,134}V^{-0,844}. \quad (7)$$

Тогда доля отпускной цены в общей стоимости материала определяется по формуле

$$\eta = \frac{(1-\eta_{\text{тр}})}{1,02}. \quad (8)$$

Так как на границе зоны влияния i -го и j -го поставщика стоимость материала фор-

мируется по суммарному закону нормального распределения, среднее квадратичное отклонение можно определить по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}. \quad (9)$$

Тогда расчётная стоимость каменного материала равна

$$Ц_{i,j}^p = \bar{Ц}_{i,j} \pm t \cdot \sigma_{i,j}. \quad (10)$$

При определении экономических зон действия поставщиков материалов на основе граничных (расчетных) значений стоимости можно обозначить ту область, в пределах которой невозможно точно определить, от какого поставщика экономически выгоднее делать поставки (рис. 4).

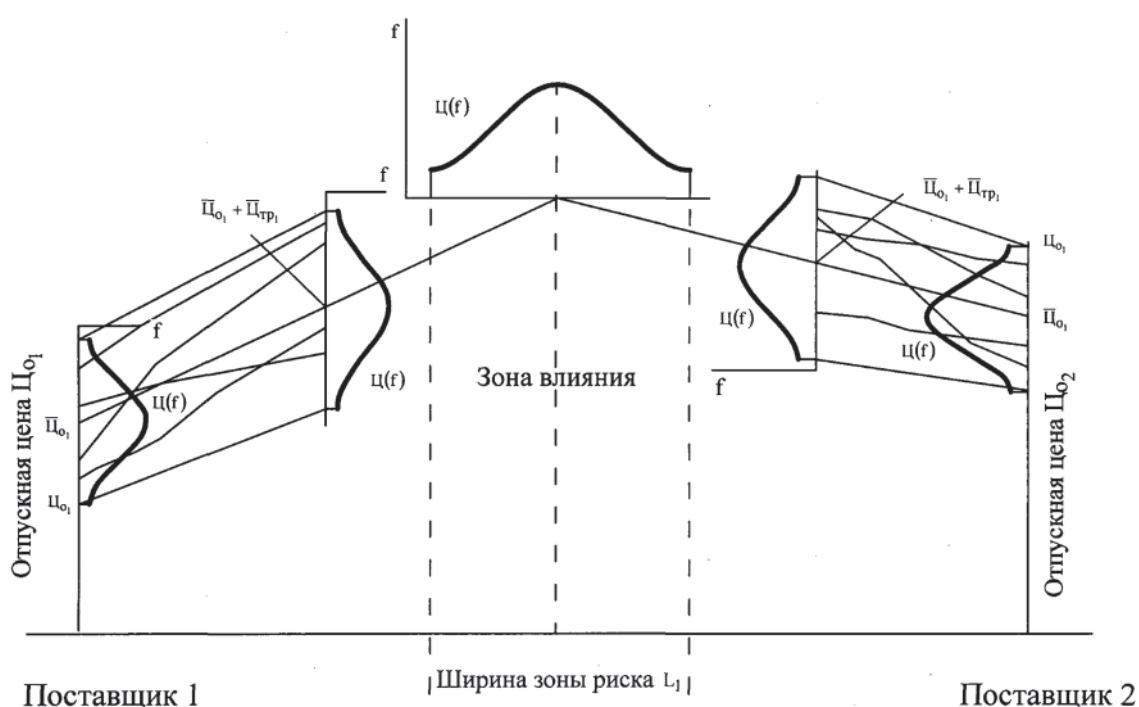


Рис. 4. Расчетная схема определения зоны риска

Эту область можно назвать зоной экономической неопределенности или риска. Ширина зоны риска L_r определяется автотранспортными затратами на завершающем маршруте перевозки материала по формуле

$$L_r = \frac{2t\sigma_{i,j} - a}{b}. \quad (11)$$

Если за пределами зоны риска практически ясно, какому поставщику дать предпочтение, то внутри неё необходимо проводить технико-экономические расчёты стоимости материала в текущих ценах на период его поставки на строительный объект. Расчёты, выполненные для территории Республики Коми, позволили произвести

региональное районирование по стоимости поставки щебня как наиболее востребованного материала в дорожном строительстве, определить границы экономической неопределенности, ширина которой достигает 50–70 км (см. рис. 4) [2].

В связи с круглогодичной перевозкой материалов для строительства лесовозных автомобильных дорог разработана математическая модель движения грузовых автомобилей в зависимости от дорожных условий.

Одним из главных показателей, определяющих производительность автотранспорта, является скорость грузового автомобиля в составе транспортного потока. Повышение средней технической скорости автомобиля на 1% позволяет поднять выработку

на 0,77...1,0%, повысить производительность на 22...25%.

Многообразие существующих методов расчёта скоростей движения автомобилей обусловлено различием предпосылок и допущений, лежащих в их основе. Конечной целью совершенствования каждого из этих методов является установление наиболее близкого соответствия между расчётными и фактическими скоростями движения при заданных условиях. Поэтому скорость автомобильного транспорта одинаковых марок и равной загрузки на прямых горизонтальных участках устанавливалась в результате экспериментальных наблюдений за режимами работы транспортного потока. При осуществлении имитационного моделирования скорость на горизонтальном участке, для приближения к реальным условиям, определяется с использованием метода статистических испытаний.

Д.П. Великанов [3] отмечает в своих работах, что наибольшее влияние на значения скоростей автотранспорта оказывает состояние покрытия, геометрические элементы трассы, величина загруженности транспорта. Проводя многофакторный корреляционный анализ влияния различных дорожных условий на скорость движения, указывают, что 77,4% всех факторов, оказывающих влияние на скорость движения автомобильного потока на дорогах, приходится на величину продольного уклона и интенсивности движения, состояние покрытия и ширину проезжей части. Влияние на скорость между этими факторами распределяется следующим образом: на долю состояния покрытия приходится 45,4%, на величину продольного уклона 31%, на ширину покрытия – 15,4%, и на интенсивность движения – 8,2%.

Если на мгновенные скорости наиболее существенное влияние оказывает тип автомобиля и его техническое состояние, то на фактическую скорость движения автомобиля, выбираемую водителем для движения на определенном маршруте, определяющее влияние оказывают факторы, связанные с типом и состоянием дороги. Причём на скорость движения грузовых автомобилей продольный профиль оказывает наиболее заметное влияние. Если на скорости большинства типов автомобилей влияет уклон более 20%, то на движение тяжелых грузовых автомобилей оказывают уклоны уже в пределах 10% [6]. В связи с отсутствием на исследуемых дорогах горизонтальных кривых малого радиуса, план трассы автомобильной дороги не оказывает влияния на ограничения скоростей движения.

Превышение расчётных скоростей над фактическими при расчётах по методу А.Е. Бельского [1] вызвано предположением о движении автомобиля с полным открытием дроссельной заслонки. В реальных условиях такой режим работы двигателя используется водителями крайне редко на крутых подъёмах или при обгонах. Одним из основных факторов, влияющих на степень открытия дроссельной заслонки, является величина суммарных дорожных сопротивлений.

В качестве расчётного автомобиля принят ЗИЛ-133, как наиболее характерный представитель грузовых автомобилей. Наблюдения показали, что в составе транспортного потока 55,49% + 65,09% грузовых автомобилей. В составе транспортного потока преобладают марки автомобилей: КамАЗ-53212, Урал-375Н, ЗИЛ-133.

Для определения величины открытия дроссельной заслонки автомобиля ЗИЛ-133 рядом авторов установлены эмпирические зависимости. Формула, предложенная [5, 6],

$$\rho = 0,2 + 16,0\psi - 83,0\psi^2, \quad (12)$$

где ρ – процент открытия дроссельной заслонки; ψ – коэффициент суммарных дорожных сопротивлений – может применяться для различных дорожных условий, но справедлив при средних показателях загруженности автомобиля.

А.Б. Ионовым [4] получена зависимость величины открытия дроссельной заслонки при различной удельной мощности автомобиля, но справедлива только при определенных дорожных условиях.

Наиболее универсальна эмпирическая зависимость

$$\rho = 0,248j + 0,240 + 9,172\psi - 33,33\psi^2, \quad (13)$$

где j – коэффициент использования грузоподъёмности; ψ – коэффициент суммарных дорожных сопротивлений.

Проверка применимости зависимости (13) для расчётов скорости показала, что расхождение экспериментальных и расчётных скоростей не превышает 10%.

Скорости движения по горизонтальным участкам и на подъёмах определяются из расчётной формулы Хавкина К.А.

$$\frac{a - bv^2}{G} = f \pm i \pm \frac{\delta}{q} \frac{dv}{dS}, \quad (14)$$

которая при переменной величине открытия дросселя является линейным дифференциальным уравнением первого порядка с переменными коэффициентами a, b, f, i, δ .

Решение дифференциального уравнения выполняется в конечных разностях.

Принято допущение, что на элементарном шаге пути коэффициенты a, b, f, i, δ явля-

ются постоянными величинами. После интегрирования формулы (14) получается

$$v_s = \sqrt{\left\{ v_{\text{вх}}^2 - \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] - \frac{2gl\Delta S}{\delta} + \frac{3,6^2}{b} [a - (i + f)] \right\}}, \quad (15)$$

где $v_{\text{вх}}$ – скорость входа на подъём и горизонтальный участок, км/ч; a, b – переменные коэффициенты, зависящие от величины открытия дроссельной заслонки, передачи, на которой движется автомобиль, и его марки; i – величина продольного уклона; f – коэффициент сопротивления качению; g – ускорение свободного падения, м/с²; ΔS – элементарный

шаг, при котором рассчитывается изменение скорости; δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс автомобиля.

Для введения значений a и b в каждый последующий шаг расчёта выражается закономерность изменения их значений в виде интерполяционных многочленов для каждой передачи:

III передача

$$\begin{aligned} a_3 &= 1,346p^3 - 2,339p^2 + 1,269p + 0,092; \\ b_3 &= (0,052p^3 - 0,097p^2 + 0,038p + 0,055) 0,001; \end{aligned} \quad (16)$$

IV передача

$$\begin{aligned} a_4 &= -0,053p^3 + 0,07p^2 + 0,005p + 0,06; \\ b_4 &= (0,015p^3 - 0,031p^2 + 0,014p + 0,049) 0,001; \end{aligned} \quad (17)$$

V передача

$$\begin{aligned} a_5 &= 0,011p^3 - 0,041p^2 + 1,269p + 0,03; \\ b_5 &= (0,008p^3 - 0,014p^2 + 0,06p + 0,047) 0,001. \end{aligned} \quad (18)$$

Применение формулы (14) на область спусков незначительного уклона (до 20...30‰), где движение автомобиля происходит также за счёт частичного тягового усилия, даёт значения скоростей, превышающие фактическую скорость и поэтому недопустимо.

Скорость на спуске определяется по следующей эмпирической зависимости

$$v_s = v_{\text{вх}} (1 + S\alpha), \quad (19)$$

где S – длина спуска; α – коэффициент, зависящий от величины отрицательного уклона

$0 \leq i \leq 10 \text{ ‰}$, $\alpha = 0,05$; $10 \text{ ‰} \leq i \leq 20 \text{ ‰}$, $\alpha = 0,095$; $20 \text{ ‰} \leq i \leq 40 \text{ ‰}$, $\alpha = 0,20$.

Определение средней скорости свободного движения автомобиля выполняется следующим образом. Продольный профиль разбивается на элементарные участки. В пределах такого участка уклон считается постоянным и равным отношению разности отметок в начале и в конце элементарного участка к длине этого участка. Для расчётов скоростей вполне приемлем шаг расчёта 10 м. Меньшее значение величины шага увеличивает время счёта на ЭВМ [5] и не даёт существенного уточнения значения

скоростей ввиду значительной гладкости функциональных зависимостей (16)–(18). За входную скорость на последующем участке принимается выходная скорость предыдущего участка, определенная по зависимости (19). На каждом участке определяется средняя скорость движения

$$v_{\text{cp}} = \frac{v_{\text{вх}} + v_{\text{вых}}}{2},$$

а затем время прохождения элементарного участка

$$t_i = \frac{\text{шаг}}{v_{\text{ср}i}}.$$

Суммируя время следования по участкам, получим общее время прохождения трассы. Средняя скорость свободного движения транспортного средства определится формулой

$$v_{\text{ср}}^{\text{св}} = \frac{S}{\sum_{i=1}^N t_i}, \quad (20)$$

где S – длина автомобильной дороги; N – количество элементарных участков.

Средняя скорость транспортного потока определится в зависимости от состава

ва движения, интенсивности и расчётной скорости

$$v_{cp}^{тп} = v_{cp}^{св} - \alpha N, \quad (21)$$

где $v_{cp}^{св}$ – скорость одиночного автомобиля при отсутствии помех, зависящая от дорожных условий; α – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава движения; N – суммарная интенсивность движения в обоих направлениях, авт/час.

По данным д.т.н. Сильянова В.В. [6], для дорожных условий $\alpha = 0,016$ при 20% легковых автомобилей в составе транспортного потока, 0,012 при 50% и 0,008 при 80% легковых автомобилей. Расчёты, выполненные по разработанному алгоритму, показали, что максимальное отклонение рассчитанной средней скорости транспортного потока составляет 12% от фактической. Таким образом, проведённые исследования адекватности разработанной модели режимов движения транспортных потоков с фактическими показателями скорости, позволяют сделать вывод о возможности использования модели для определения показателей скорости транспортного потока и одиночных автомобилей в зависимости от дорожных условий.

Выводы. Проведён анализ динамики стоимости всех ресурсов строительного рынка автотранспортных затрат и дорожно-строительных материалов, позволяющий сделать вывод о том, что определить однозначно экономические границы зон действия поставщиков каменных материалов на длительный временной интервал невозможно.

Разработанная модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов позволяет учитывать вероятностный характер стоимости строительного материала в зависимости

от определяющих переменных: отпускной стоимости материалов, транспортных и погрузочно-разгрузочных затрат.

Проведённые исследования адекватности разработанной модели определения скоростей движения автомобилей с фактическими показателями скорости позволяют сделать вывод о возможности использования модели для определения показателей скорости транспортного потока и одиночных автомобилей в зависимости от дорожных условий.

Список литературы

1. Бельский А.Е. Расчёты скоростей движения на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1966. – 122 с.
2. Боровик В.С. Проектирование организации нововведений в дорожно-строительных работах: дис. . д-ра техн. наук. – М., 1999. – 256 с.
3. Великанов Д.П. Эксплуатационные качества автомобилей. – М.: Автотрансиздат, 1962. – 174 с.
4. Ионов А.В. Учет особенностей движения автомобилей и автопоездов при расчете скоростей на подъемах // Труды МАДИ. – 1979. – Вып. 163. – С. 29–36.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2006610618 Программный пакет для обработки полевых измерений по оценке геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог / Курьянов В.К., Рябова О.В., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В.; правообл. ГОУ ВПО ВГЛТА. – 2005612653; зарегистр. в Реестре прогр. для ЭВМ в 2006 г.
6. Сильянов В.В. Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог / В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников // Труды МАДИ. – 1974. – Вып. 72. – С. 47–66.

Рецензенты:

Чижов М.И., д.т.н., профессор кафедры АОМП Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж;

Подольский В.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой строительства автомобильных дорог Воронежского архитектурно-строительного университета, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 23.03.2011.