

УДК 625.7/8

**КОМПЛЕКС «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – СРЕДА»
КАК ДВУХУРОВНЕВАЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ
СИСТЕМА ОБСЛУЖИВАНИЯ****Скрышников А.В., Чернышова Е.В., Абасов М.А., Тихомиров П.В.***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж,
e-mail: elenabok@mail.ru*

В работе предлагается рассматривать комплекс «водитель – автомобиль – дорога – среда» с позиции системного анализа, дается определение понятию «среда». Исследованию функционирования комплекса и отдельных его систем посвящено большое количество работ, в которых дано подробное описание степени влияния транспортных потоков, условий внешней среды и порядка движения транспорта на эффективность деятельности лесовозного транспорта, организацию и безопасность дорожного движения. В большинстве указанных работ рассматривается комплекс «водитель – автомобиль – дорога», в некоторых из них обращается внимание на необходимость учета влияния внешних факторов. Для достижения поставленной цели необходимы глубокие исследования внутренних взаимодействий систем комплекса ВАДС и их закономерностей, на основании чего можно разработать систему управляющих взаимодействий, оценить их эффективность и выбрать наиболее целесообразные. Проектирование оптимальной трассы лесной автомобильной дороги в пространстве представляет собой сложную проблему. Исследования, проведенные в этой области в нашей стране и за рубежом, вносят значительный вклад в развитие данного направления. Вместе с тем анализ этих работ показал, что предлагаемые методы, основанные в большинстве своем на идеях динамического программирования, либо трудно реализуемы при текущем состоянии вычислительной техники, либо из-за значительных упрощений могут быть использованы лишь на этапе предварительного трассирования для выбора направления проектируемой лесной автомобильной дороги.

Ключевые слова: комплекс «водитель – автомобиль – дорога – среда», транспортные потоки, информационная инфраструктура, дорожная сеть

**COMPLEX «DRIVER – CAR – ROAD – WEDNESDAY» AS A TWO-LEVEL
DECENTRALIZED SERVICE SYSTEM****Skryshnikov A.V., Chernyshova E.V., Abasov M.A., Tikhomirov P.V.***Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, e-mail: elenabok@mail.ru*

In this paper, it is proposed to consider the «driver – car – road – wednesday» complex from the position of system analysis, the definition of the term «environment» is given. The study of the functioning of the complex and its individual systems is devoted to a large number of works in which a detailed description of the degree of influence of traffic flows, environmental conditions and the order of traffic on the performance of timber transport, organization and safety of road traffic is given. In most of these works, the «driver-car-road» complex is considered, some of them draw attention to the need to take into account the influence of external factors. To achieve this goal, it is necessary to thoroughly study the internal interactions of the systems of the complex of the high-voltage interaction control system and their regularities, on the basis of which it is possible to develop a system of control interactions, evaluate their effectiveness and choose the most appropriate ones. Designing the optimal route of a forest highway in space is a complex problem. Studies conducted in this area in our country and abroad make a significant contribution to the development of this area. At the same time, the analysis of these works showed that the proposed methods, mostly based on the ideas of dynamic programming, are either difficult to implement with the current state of computing, or due to considerable simplifications, can only be used at the preliminary tracing stage to select the direction of the forest design. auto-mobile road.

Keywords: complex «driver – car – road – environment», traffic flows, information infrastructure, road network

На основе анализа задачи проектирования трассы с учетом опыта использования метода аппроксимации последовательности точек [1] выявлена принципиальная возможность применения нелинейного программирования для оптимизации трассы, заданной в соответствии с определенными требованиями зоне варьирования. Наибольшую трудность представляет собой выбор трассы лесной автомобильной дороги в горной и пересеченной местности. В этих условиях, при существующей технологии проектирования (путем перебора ограниченного числа вариантов в плане), не мо-

жет быть гарантировано нахождение наилучшего решения. Поэтому именно в таких случаях наибольший практический интерес представляет применение математических методов для поиска оптимального положения трассы лесной автомобильной дороги. Вместе с тем именно в горной местности довольно часто встречаются участки, трассируемые с предельно допустимым продольным уклоном (напряженные хода), где оптимизация трассы может выполняться при неизменном продольном профиле. Применительно к этим условиям разработаны методы проектирования оптимальной трас-

сы, представленные в настоящей статье. Предложенные методы могут применяться также на косогорных участках. Проектирование трассы в пространстве в таких случаях предусматривается выполнять в несколько этапов путем оптимизации в плане при фиксированном профиле с последующей корректировкой профиля и повторением оптимизации в плане.

Цель исследования: исследование вопросов управления дорожным движением и погоднo-климатических факторов, влияющих на режим движения на автомобильных дорогах.

Объект исследования: автомобильные дороги.

Методы исследования: методы системного анализа.

При решении оптимизационных задач с применением методов нелинейного программирования очень важное значение имеет характер целевой функции. Для сложных целевых функций целесообразно

выполнять оптимизацию на основе математических моделей [2], которые адекватно учитывают наиболее существенные факторы, влияющие на выбор положения трассы, и неизбежно допускают приемлемые для реализации модели, выполнено исследование структуры критерия оптимальности.

За критерий оптимальности при выборе трассы лесной автомобильной дороги принимают суммарные приведенные затраты $P_{пр}$ [3–6].

$$P_{пр} = \frac{E_H}{E_{Hn}} \times K_{пр} + \sum_{t=1}^{t_c} \frac{C_t}{(1 + E_{Hn})^t}, \quad (1)$$

где $K_{пр}$ – приведенная к одному моменту величина единовременных затрат; C_t – текущие затраты в год; E_H – нормативный коэффициент эффективности для уравнения вариантов; E_{Hn} – нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат; t_c – срок службы.

Структура критерия оптимальности

Наименование фактора	Обозначение	Содержание в %	
		$P_{пр}$	K_c
Единовременные затраты			
Освоение территории	$K_{п}$	0,4	2,7
Переустройство коммуникаций	$K_{к}$	0,1	0,3
Земляные работы	$K_{эр}$		
в том числе:			
а) не зависящие от продольного распределения земляных масс	$K_{зн}$	2,06	16,4
б) зависящие от продольного распределения земляных масс	$K_{зз}$	1,2	8,1
в) устройство верхней части землеполотна	$K_{зв}$	0,2	0,6
г) укрепительные работы	$K_{зв}$	0,3	2,0
д) дренажи	$K_{зд}$	0,02	0,1
е) подпорные и одевающие станки	$K_{зс}$	0,02	0,1
Дорожная одежда	$K_{до}$	3,4	24,3
Водопрпускные трубы	$K_{т}$	0,7	5,1
Мосты и путепроводы	$K_{м}$	1,3	9,3
Пересечения и примыкания	$K_{пп}$	0,4	3,1
Обстановка и принадлежности дороги	$K_{оп}$	0,3	2,2
Капитальный ремонт	$K_{кр пр}$	1,4	–
Капитальные вложения в автомобильный транспорт	$K_{ис пр}$	4,0	–
Потери от изъятия земель	$K_{зем}$	0,6	–
Текущие затраты			
Текущий ремонт и содержание	$C_{де}$	8,2	–
Средний ремонт	$C_{дп}$		
Транспортно-эксплуатационные расходы	$C_{пер}$	70,5	–
Потери, связанные с затратами времени пассажиров	$C^в$	4,9	–
Потери от ДТП	$C^п$		

Если единовременные затраты являются одноэтапными, а текущие растут по одному закону (линейному или по сложным процентам) в течение всего срока службы, то величина суммарных приведенных затрат определяется по формуле

$$P_{np} = K + \frac{C}{E_H}, \quad (2)$$

где K – единовременные затраты; C – величина текущих годовых затрат расчетного года эксплуатации.

Затраты, не зависящие от положения трассы в заданной полосе варьирования, могут не учитываться в процессе оптимизации. Поэтому такие составляющие критерия подробно не рассматриваются.

В целях установления значимости различных составляющих критерия оптимальности, влияющих на выбор положения трассы, приведен анализ проектов. По объектам, расположенным в пересеченной и горной местности, установлено процентное содержание составляющих критерия от величины критерия оптимальности P_{np} и от стоимости строительства K_c (таблица).

Исследование структуры критерия (2) показало, что основные его затраты можно систематизировать в 4 вида:

K_1 – затраты пропорциональные длине трассы в пределах определенного участка (1-й вид);

K_2 – затраты по сосредоточенным объектам (2-й вид);

K_3 – затраты с линейно изменяющимися в пределах определенного участка удельными затратами на 1 п.м дороги (3-й вид);

K_4 – прочие затраты (4-й вид).

Тогда

$$P_{np} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4. \quad (3)$$

Затраты на подготовительные работы

Из подготовительных работ от положения трассы зависят затраты на освоение территории K_n (включая отвод земель, рубку леса, корчевку пней и возмещение расходов на освоение земель взамен отводимых) и затраты по переустройству коммуникаций – K_k .

$$K_n = \sum_{i=1}^l F_{33i} U_{nbi}, \quad (4)$$

где U_{nbi} – удельные затраты на освоение единицы площади занимаемых земель i -го типа угодий;

F_{33i} – площадь занимаемых земель i -го типа угодий.

Формула (4) может быть преобразована к виду

$$K_n = \sum_{i=1}^{l-1} \frac{(B_{0i} \times U_{nbi} + B_{0(i+1)} \times U_{nb(i+1)})}{2} \times \times L_i = \sum_{i=1}^{l-1} (U_{ni} + U_{n(i+1)}) \frac{L_i}{2}, \quad (5)$$

где L_i – длина i -го участка оптимизируемой трассы; B_{0i} – ширина полосы отвода в i -м сечении; U_{ni} – удельные затраты на освоение на 1 п.м дороги в i -м сечении; K_n – относится к 3-му виду затрат.

Для некоторого участка зависимости $U_{ni} = f(Z_i)$, в пределах которого поверхность земли может быть принята с постоянным уклоном m_z и тип проектного поперечного профиля земляного полотна не меняется, имеем

$$B_{0i} = B_{z1} + \frac{(Cm_1 - B_1m_1 - Z_1m_1)}{m_z - m_1} + B_1 + + B_2 + \frac{B_2m_2 - Cm_2 + Z_1m_2}{m_z - m_2} + B_{z2}. \quad (6)$$

После преобразований:

$$U_{ni} = B_n \times Z_i + C_n, \quad \text{где } B_n, C_n - \text{const.} \quad (7)$$

В общем случае зависимость $U_{ni} = f(Z_i)$ является кусочно-линейной с разными, обусловленными переломами поперечного профиля земли и изменением типов проектных поперечных профилей.

Затраты на переустройство коммуникаций K_k относятся ко 2-му виду:

$$K_k = \sum_{i=1}^l U_{ki} = \sum_{i=1}^l L_{ki} \times U_{kli}, \quad (8)$$

где U_{ki} – затраты на переустройство коммуникаций в i -м сечении; L_{ki} – длина переустройства i -й коммуникации; U_{kli} – удельная стоимость переустройства i -й коммуникации. Отсюда следует:

$$L_{ki} = \frac{B_0 \sqrt{1 + m_2^2}}{m_2}. \quad (9)$$

После преобразований с подстановкой значений B_{0i} на (6) получим

$$U_k = B_k \times Z_i + C_k, \quad \text{где } B_k, C_k - \text{const.} \quad (10)$$

В некоторых случаях $U_k = f(Z_i)$ имеет более сложный характер, но она может быть аппроксимирована кусочно-параболической зависимостью.

*Затраты на сооружение
земляного полотна*

Затраты на сооружение земляного полотна составляют в среднем 3,8% от величины критерия. Однако учет их при оптимизации трассы связан со значительными трудностями, обусловленными многообразием факторов, определяющих стоимость земляного полотна. Основными из этих факторов являются влияние геологической структуры на конструкцию земляного полотна и на стоимость разработки грунта, учет распределения земляных масс, обеспечение устойчивости и др.

В целях повышения точности учета затрат на сооружение земляного полотна при оптимизации целесообразно разделить их на шесть составляющих (таблица).

Затраты K_{33} относятся к третьему виду и включают:

- стоимость разработки грунта в выемке;
- стоимость транспортировки в кавальер грунта выемки, непригодного для возведения насыпи;
- затраты по поперечному перемещению грунта из выемки в насыпь;
- затраты на сопутствующие работы.

$$K_{33} = \sum_{i=1}^{l-1} (U_{33i} + U_{33(i+1)}) \frac{L_i}{2}, \quad (11)$$

где U_{33i} – затраты на выполнение земляных работ, не зависящие от продольного распределения, на 1 п.м дороги в i -м сечении.

$$U_{33i} = \sum_{k=1}^K F_{ik} \times U_{ik} + F_{ki} \times U_{ki} + F_{pi} \times U_{pi} + (\sum_{k=1}^K F_{ik} + F_{Hi}) \times U_{ci}, \quad (12)$$

где F_{ik} – площадь грунта выемки k -й группы по сложности разработки в i -м поперечном сечении; U_{ik} – стоимость разработки 1 м³ грунта k -й группы; K – число групп грунтов в i -м сечении; F_{ki} – площадь грунта выемки, не пригодного для возведения насыпи.

$$F_{ki} = \sum_{k=1}^K (F_{ik} \times P_{ki}),$$

где P_{ki} – доля грунта k -й группы, не пригодного в насыпь; U_{ki} – стоимость перемещения непригодного грунта выемки в кавальер; F_{pi} – площадь грунта выемки, перемещаемого поперечной возкой в насыпь

$$(F_{pi} = \min\{F_{ВП}; F_{Hi}\}, \text{ где } F_{ВП} = \sum_{k=1}^K [F_{ik} \times (1 - P_{ki})],$$

U_{pi} – стоимость поперечного перемещения 1 м³ грунта из выемки в насыпь; F_{Hi} – пло-

щадь насыпи в i -м поперечном сечении; U_{ci} – удельные затраты на сопутствующие земляные работы на 1 м³ профильного объема.

Стоимость разработки грунта в выемке определяют с учетом фактических объемов земляных работ для различных групп грунтов по сложности разработки с соответствующими им единичными стоимостями разработки. Это особенно важно при проектировании в горной местности в скальных грунтах.

Объем грунта в выемках определяется с учетом при необходимости замены слабого грунта и устройства уступов на косогорах. На заболоченных участках, в случае когда предусматривается выторфовывание, объемы работ по выторфовыванию входят в состав F_{ki} , а в F_{Hi} учитывается замена грунта после выторфовывания.

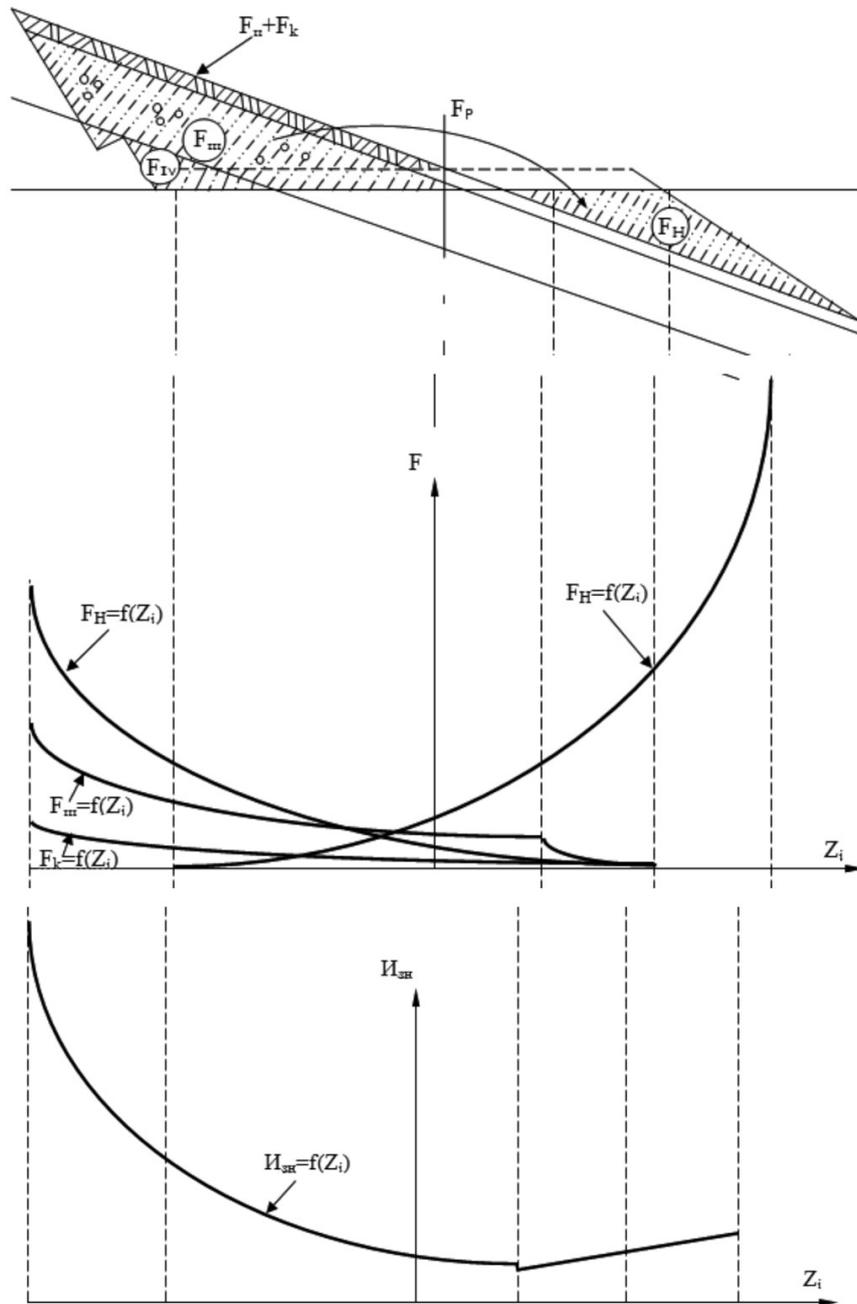
Коэффициенты уплотнения грунта, во избежание нагромождения формул, учтены в соответствующих объемах работ или площадях поперечных сечений.

В формуле (12) $U_{ik}, U_{ki}, U_{pi}, U_{ci} = \text{const}$ для i -го сечения, поэтому зависимость $U_{33i} = f(Z_i)$ с учетом того, что площади $F_{ik}, F_{ki}, F_{pi}, F_{Hi}$ состоят из трапеций и треугольников, является кусочно-квадратичной (рисунок).

Основными составляющими затрат, зависящих от распределения земляных масс, K_{33} , являются затраты: по перемещению пригодного грунта из выемки в насыпь; по перемещению пригодного грунта выемки в кавальер, в случае его избыточности или экономической целесообразности использования в насыпь по сравнению с разработкой и транспортировкой в насыпь грунта из резерва; по разработке и перемещению грунта из резерва в насыпь.

В общем случае K_{33} не может быть получена последовательным суммированием затрат по участкам. Учет данной составляющей критерия при оптимизации трассы вызывает значительные трудности и неизбежно связан с необходимостью упрощений. Для оценки возникающей погрешности K_{33} выделено в отдельную составляющую критерия. Учитывая, что эти затраты в среднем не превышают 1,2% величины критерия, допущенные упрощения мало влияют на получаемое решение.

Рассмотрены несколько возможных способов определения K_{33} с учетом опыта разработки и применения подсистемы проектирования оптимального продольного профиля [7–9].



Формирование модели U_{33}

В программе, реализующей предлагаемый метод оптимизации трассы в плане, K_{33} учитывается наиболее простым способом, который заключается в том, что единичные приведенные стоимости земляных работ в насыпи U_{ni} или выемке U_{Bi} определяются на основе распределения земляных масс, выполняемого по базовому варианту. Поиск оптимальной трассы осуществляется в пределах подмножества возможных вариантов, отвечающих при-

нятой в данном случае схеме распределения и способами производства работ.

Затраты K_{33} в этом случае могут быть определены по формуле

$$K_{33} = \sum_{i=1}^{l-1} (U_{33i} + U_{33(i+1)}) \frac{L_i}{2}, \quad (13)$$

где U_{33i} – удельные затраты на 1 п.м дороги в i -м сечении по производству земляных работ, зависящих от распределения.

$$U_{33i} = F_{\text{ВПО}i} \times U_{\text{В}i}, \text{ если } Z_i < Z_{0i},$$

$$U_{33i} = F_{\text{НО}i} \times U_{\text{Н}i}, \text{ если } Z_{0i} \leq Z_i,$$

где $F_{\text{ВПО}i}$ – оставшаяся после выделения $F_{\text{В}i}$ часть пригодного грунта, которая может быть использована в насыпь путем продольного перемещения. Она составит

$$F_{\text{ВПО}i} = 0, \text{ если } F_{\text{В}i} \leq F_{\text{Н}i}$$

$$F_{\text{ВПО}i} = F_{\text{В}i} - F_{\text{Н}i}, \text{ если } F_{\text{В}i} > F_{\text{Н}i},$$

$F_{\text{НО}i}$ – оставшаяся после выделения часть насыпи.

$$F_{\text{НО}i} = 0, \text{ если } F_{\text{Н}i} \leq F_{\text{В}i},$$

$$F_{\text{НО}i} = F_{\text{Н}i} - F_{\text{В}i}, \text{ если } F_{\text{В}i} > F_{\text{Н}i},$$

где Z_{0i} – граничное значение Z_i , разделяющее зависимость $U_{33i} = f(Z_i)$ на области избыточности объемов насыпи или выемки.

Единичные стоимости $U_{\text{В}i}$ и $U_{\text{Н}i}$ могут уточняться при оптимизации в несколько этапов.

Так как $U_{\text{В}i}$ и $U_{\text{Н}i}$ принимаются постоянными на определенном этапе оптимизации трассы, то зависимость $U_{33i} = f(Z_i)$ является кусочно-квадратичной по тем же причинам, что и $U_{\text{В}i} = f(Z_i)$, а затраты K_{33} при рассмотренном способе их определения относятся к третьему виду. В общем случае K_{33} относятся к прочим затратам K_4 .

В работах [10–12] предложен другой способ учета распределения земляных масс для решения задачи оптимизации продольного профиля. Он состоит из следующих этапов:

1. На основе проектной линии, полученной на ЭВМ без учета распределения земляных масс и способов производства работ (например, по некоторым средним единичным стоимостям), на каждом участке профиля назначаются два принципиально различных варианта: вариант А – сооружение насыпей только из грунта выемок и при необходимости разработка излишнего (или непригодного) грунта выемок в кавальер; вариант Б – использование не только всего пригодного грунта выемок, но и резервов (кавальеров).

2. Задание соответствующих вариантам А и Б единичных стоимостей и неравенств относительно объемов насыпей $V_{\text{Н}}$ и выемок $V_{\text{В}}$, определяющих каждый из вариантов.

3. Поиск такой проектной линии, которая оптимальна для всего проектируемого участка в целом с одновременной фиксацией варианта распределения земляных масс (А и Б). Если возможен только один из этих вариантов, то должна быть получена соответствующая ему проектная линия.

4. Выбор оптимального варианта распределения земляных масс и способов производства работ для полученной проектной линии и определение соответствующих единичных стоимостей.

5. Уточнение границ участков, сооружаемых продольными перемещениями грунта (т.е. фиксация области A_i), и расчет оптимального варианта проектной линии, для которого сохраняет свое значение оптимальный вариант распределения земляных масс и способов производства работ.

Если оказывается, что полученная проектная линия соответствует внутренней точке области A_i , т.е. повторная оптимизация распределения земляных масс не приводит к изменению транспортных связей и способов производства работ, то процесс оптимизации считается законченным.

В противном случае, т.е. при изменении границ участков сооружаемых совместно насыпей и выемок, необходимо продолжить расчеты до тех пор, пока распределение земляных масс по полученной проектной линии не будет отличаться (в смысле транспортных связей) от того распределения, которое имели в виду в процессе ее получения.

Данный способ определения K_{33} по сравнению с ранее рассмотренным, позволяет сократить число этапов оптимизации, но приводит к необходимости увеличения требуемой оперативной памяти и времени счета для решения задачи.

Затраты на устройство верхней части земляного полотна $K_{3\text{В}}$ в большинстве случаев относятся к 1-му виду и определяют по формуле

$$K_{3\text{В}} = \sum_{i=1}^{l-1} L_i \times U_{3\text{В}i}, \quad (14)$$

где $U_{3\text{В}i}$ – удельные затраты на 1 п.м дороги по устройству верхней части земляного полотна из резерва или выемки – резерва.

$$U_{3\text{В}i} = F_{3\text{В}i} \times U_{\text{РН}i} = \text{const.}$$

где $F_{3\text{В}i}$ – средняя площадь верхней части земляного полотна на i -м участке; $U_{\text{РН}i}$ – стоимость разработки 1 м³ грунта в резерве или в выемке-резерве и транспортировке в насыпь на i -й участок.

Кроме собственно земляных работ, в стоимость земляного полотна входят затраты на устройство укрепления $K_{3\text{У}}$, дренажей $K_{3\text{Д}}$, подпорных и одевающих стенок $K_{3\text{С}}$ и др.

$$K_{3\text{У}} = \sum_{i=1}^{l-1} (U_{3\text{У}i} + U_{3\text{У}(i+1)}) \frac{L_i}{2}, \quad (15)$$

где $U_{3\text{У}i}$ – удельные затраты на укрепительные работы 1 п.м дороги в i -м усечении.

$$U_{3yi} = \sum_{j=1}^J B_{3yij} \times U_{3yij},$$

где U_{3yij} – стоимость 1 м² укрепительных работ j -го типа; B_{3yij} – длина участка откоса в i -м поперечном сечении с укреплением j -го типа; K_{3y} – относится к третьему виду затрат, а зависимость $U_{3yi} = f(Z_i)$ аналогично $U_{ni} = f(Z_i)$ является кусочно-линейной с разрывами, обусловленными переломами рельефа, изменениями типа поперечного профиля и типа укрепления.

$$K_{3д} = \sum_{i=1}^{l-1} L_i \times U_{3ди}, \quad (16)$$

где $U_{3ди}$ – затраты на 1 п.м дороги по устройству дренажей на i -м участке, разбивке на участки производится так, чтобы $U_{3ди} = \text{const}$, следовательно, $K_{3д}$ относится к 1-му виду затрат. Затраты на устройство подпорных и одевающих стенок $K_{3с}$ относятся к третьему виду

$$K_{3с} = \sum_{i=1}^{l-1} (U_{3си} + U_{3с(i+1)}) \times \frac{L_i}{2}, \quad (17)$$

где $U_{3си}$ – стоимость устройства подпорных и одевающих стенок на 1 п.м дороги в i -м сечении.

Анализ конструкций подпорных стенок, предусмотренных [13–15], показал, что $U_{3си}$ на участках устройства стенок может быть представлена кусочно-квадратичными зависимостями.

Выводы

При достаточном уровне исходной информации о составляющих комплекса «водитель – автомобиль – дорога – среда» и распределении и влиянии каждого из элементов друг на друга будет устранена проблема теоретического и практического характера. В данной работе для решения задачи оценки эффективности мероприятий по повышению технического уровня содержания конкретной дороги или ее участка, а также для сравнения вариантов этих мероприятий приведены предпосылки. Чтобы эта задача являлась оптимальной, она должна решаться на стадии проектирования дорог в указанной последовательности. В целях решения поставленной задачи в настоящей работе проделано следующее: выполнены исследования структуры критерия оптимальности и на основе этого разработаны математические модели критерия; проведены исследования характера ограничений и приняты модели ограничений, с достаточной точностью отражающие требования к геометрическим характеристикам и положению трассы в плане; осуществлена математическая постановка задачи оптимизации

трассы в плане и рассмотрены возможные методы ее решения; разработана методика проектирования оптимальной трассы в плане с применением предложенных методов.

Таков путь определения технико-экономической эффективности мероприятий по улучшению взаимодействия комплекса ВАДС, его подсистем, путь эффективного управления транспортно-эксплуатационными характеристиками лесовозных автомобильных дорог с учетом различия климата и погоды по регионам лесозаготовок страны при проектировании.

Список литературы

1. Belyaev A.N., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Theoretical foundations of the method of designing a clothoid track with approximation of succession of points. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. T. 726. P. 654–667.
2. Быстряцев Е.В., Логойда В.С. Методика определения рациональных параметров информационного обеспечения автомобильного транспорта // *Автоматизация. Современные технологии ежемесячный межотраслевой научно-технический журнал*. 2017. Т. 71. № 08. С. 381–384.
3. Levushkin D.M., Mogutnov R.V., Skrypnikov A.V. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. T. 1015. P. 032069.
4. Dorokhin S.V., Kozlov V.G. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12. No. 2. P. 511–515.
5. Умаров М.М., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2018. № 2 (262). С. 58–69.
6. Чирков Е.В., Поставиничий С.А. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2018. № 6 (366). С. 117–127.
7. Gulevsky V.A., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic resource*. 2018. P. 042056.
8. Курьянов В.К., Морковин В.А. Модель режимов движения транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2014. № 2 (338). С. 61–67.
9. Самцов В.В., Абасов М.А. Методы нелинейного программирования, используемые при проектировании трассы // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2018. № 225. С. 131–143.
10. Умаров М.М., Арутюнян А.Ю. Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // *Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса*. Воронеж, ВГУИТ. 2015. С. 76–81.
11. Скрыпников А.В. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движением // *Бюллетень транспортной информации*. 2010. № 1. С. 14–18.
12. Ryabova O.V., Ngoc N.Ph. Development of a strategy of the maintenance of transportation facilities taking into account the climatic conditions of Vietnam. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. № 1 (33). P. 48–60.
13. Карпачёв С.П., Запруднов В.И., Шмырев В.И., Шмырев Д.В., Камусин А.А., Редькин А.К. Технологические схемы освоения биоресурсов леса с использованием мягких контейнеров // *Техника и оборудование для села*. 2017. № 1. С. 43–46.
14. Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // *Системы. Методы. Технологии*. 2017. № 3 (35). С. 143–148.
15. Ширинкин Н.В., Стукалов Р.В. Исследование задач проектирования комплексного технического обеспечения и обобщенная модель их решения // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. № 4 (66). С. 93–98.