

УДК 630.383

## МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ РЕМОНТА УЧАСТКОВ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

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

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

Ремонт лесовозных автомобильных дорог имеет свои особенности, он может вестись на различных участках и не носить линейный характер. В статье описана методика оптимизации планов ремонта участков лесных автомобильных дорог. Затратив дополнительные средства, обеспечивается величина степени опасности меньше требуемого нормативного уровня, увеличивается срок эксплуатации данного участка дорог. Если величина ущерба от того, что ремонт участка не включен в план, существенно выше, чем дополнительный выигрыш при уменьшении степени опасности ниже нормативного уровня, то основной задачей становится задача минимизации ущерба. Метод «затраты-эффект» состоит в том, что все участки упорядочиваются по убыванию показателя эффективности.

Ключевые слова: лесная автомобильная дорога, минимизация ущерба, оптимизация плана ремонта, степень опасности.

## METHOD OF OPTIMIZATION PLANS REPAIR AREAS OF FOREST ROADS

Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V.

Voronezh State Forestry Academy, Voronezh  
(394 087, Russia, Voronezh, Timiryazev str., 8), [rivelenasoul@mail.ru](mailto:rivelenasoul@mail.ru)

Repair of road haulage has its own characteristics, it can be in different areas and not in a linear fashion. The article describes a method of optimizing maintenance plans sections of forest roads. If expending additional funds provided by the magnitude of risk is less than the required regulatory level, there is an increase in service life of roads. If the magnitude of damage for that the repair area is not included in the plan are substantially higher than the additional benefit in reducing the hazard below the normative level, the main task is the problem of minimizing the damage. The method of "cost-effect" includes all parts, which are arranged in descending order of the efficiency.

Keywords: Forest Road, to minimize the damage, the optimization plan of repair, the degree of danger.

**Введение.** Ремонт производится с целью снижения ожидаемого ущерба при эксплуатации участков лесных автомобильных дорог. Когда степень опасности достигает определенной величины, участок дороги подлежит ремонту.

Если ремонт не производится в текущем плановом периоде, то либо ограничиваются возможности эксплуатации данного участка, либо он вообще закрывается для проезда с определением объездных путей. Затратив дополнительные средства, можно обеспечить величину степени опасности меньше требуемого нормативного уровня, что приводит как к уменьшению степени опасности, так и к увеличению срока эксплуатации данного участка дороги [1,3,7].

**Теоретическая часть.** Примем, что определена зависимость  $y_i = \Phi_i(x_i)$  степени опасности  $i$ -го участка дороги после ремонта от величины средств ремонта. Рассмотрим два вида таких зависимостей: непрерывные (рис. 1) и дискретные (рис. 2). На рис. 1 величина  $U_{np}$  определяет предельную оценку степени опасности, при достижении которой нормальная эксплуатация участка дороги не допускается. Величина  $U_H$  определяет минимальный уровень степени опасности, который можно обеспечить в результате ремонта за счёт дополнительного финансирования [2,4].

Пусть дана величина средств на ремонт на планируемый период (год). Задача заключается в распределении этих средств, то есть в определении множества участков, которые могут ремонтироваться, и величины средств, выделенных на ремонт каждого из этих участ-

ков. Как правило, выделенных средств недостаточно для финансирования ремонта всех участков, требующих ремонта. Как уже отмечалось выше, если ремонт всех участков не производится в планируемом периоде, то ограничение, либо запрещение эксплуатации данного участка приводит к потерям. Обозначим  $b_i$  потери (ущерб) в случае, если ремонт  $i$ -го участка не производится в планируемом периоде. Тогда суммарный ущерб можно записать в виде

$$B(Q) = \sum_{i \notin Q} b_i, \quad (1)$$

где  $Q$  – множество ремонтируемых участков, а суммарная степень опасности участка дороги

$$\Phi(Q) = \sum_{i \in Q} y_i(x_i), \quad (2)$$

при ограничениях на величину выделенных средств

$$\sum_{i \in Q} x_i^* \leq C, \quad (3)$$

где  $C$  – величина средств на ремонт в планируемом периоде. Заметим, что степень опасности  $\Phi$  является некоторой комплексной безразмерной оценкой, учитывающей целый ряд факторов. В тоже время ущерб  $B$  измеряется в денежном выражении. Для их приведения к единому виду введем множитель  $\lambda$ , размерность которого 1/руб и представим степень опасности и ущерб в виде линейной свертки

$$F(Q) = \Phi(Q) + \lambda B(Q), \quad (4)$$

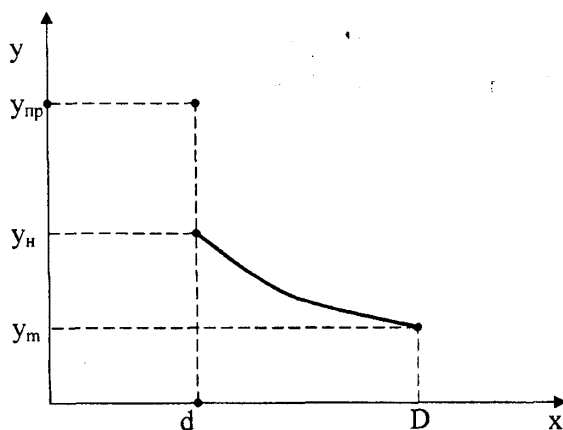


Рис. 1

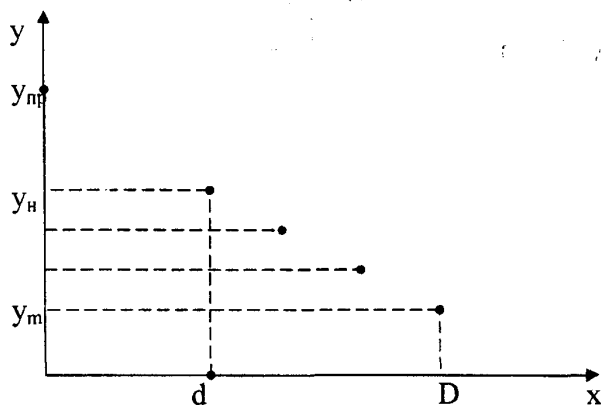


Рис. 2

Рассмотрим задачу формирования плана ремонтных работ. Если величина ущерба от того, что ремонт участка не включен в план, существенно выше, чем дополнительный выигрыш при уменьшении степени опасности ниже нормативного уровня [4], то основной задачей становится задача минимизации ущерба (1). Задача заключается в том, чтобы определить

$\{x_i\}, i = \overline{1, n}$ , минимизирующие (4) при ограничении (3). Задачу можно рассматривать как параметрическую. Меняя величину  $\lambda$ , мы получим различные варианты плана. Из этих вариантов лицо, принимающее решение (ЛПР), выбирает план ремонта, исходя из своих предпочтений [1,8].

**Методика.** Если задачу рассматривать как параметрическую, то есть решать её при различных значениях параметра  $\lambda$ , то алгоритм становится достаточно трудоёмким. Поэтому рассмотрим простой эвристический алгоритм решения задачи при каждом значении  $\lambda$ , основанный на методе «затраты-эффект». Ограничимся описанием алгоритма для дискретного случая задачи, причем примем, что для каждого участка возможны два варианта:

1 вариант. Участок не включен в план ремонтных работ.

2 вариант. Участок включен в план ремонта с доведением степени опасности до нормативного уровня. Обозначим  $x_i=1$ , если участок  $i$  включен в план ремонта, и  $x_i=0$  в противном случае. Тогда целевую функцию (4) можно записать в виде

$$F(x) = \sum_i x_i y_{ii} + \sum_i (1 - x_i) y_{iIII} + \lambda \sum_i (1 - x_i) b_i = \\ = \sum_i y_{iIII} + \lambda \sum_i b_i - \left[ \sum_i x_i (y_{iIII} - y_{iII}) + \lambda \sum_i x_i b_i \right], \quad (5)$$

Задача минимизации  $F(x)$  эквивалентна задаче максимизации выражения в квадратных скобках

$$\tilde{F}(x) = \sum_i x_i (c_i + \lambda b_i), \quad (6)$$

где  $c_i = y_{iIII} - y_{iII}$ , при ограничении  $\sum_i d_i x_i \leq C$ , (7)

Сущность метода «затраты-эффект» состоит в том, что все участки упорядочиваются по убыванию показателя эффективности

$$q_i(\lambda) = \frac{c_i + \lambda b_i}{d_i} = \alpha_i + \lambda \beta_i, \quad (8)$$

где  $\alpha_i = c_i / d_i$ ,  $\beta_i = b_i / d_i$ . Участки включаются в план ремонта в этой очередности, пока хватает средств.

В дальнейшем примем, что участки пронумерованы в очередности убывания эффективностей. Имеют место два простых утверждения.

Утверждение 1. Если в плане ремонта, полученном в результате применения метода «затраты-эффект», задействованы все выделенные финансы, то этот план оптимален.

Утверждение 2. Пусть в полученном плане ремонта осталось неиспользованными  $\Delta$  средств и в план включены первые  $k$  участков. Погрешность полученного решения, то есть разность целевой функции в полученном решении и в оптимальном решении не превышает величины

$$\Delta q_{k+1}, \quad (9)$$

Поскольку нас интересует не значение критерия (6) при различных  $\lambda$  (эта величина трудна для содержательной интерпретации в силу разнородности финансовых показателей и показателей степени опасности участков), а значения величин  $C(x) = \sum_i c_i x_i$  и

$B(x) = \sum_i b_i x_i$ , то рассмотрим алгоритм получения этих величин при различных  $\lambda$  [1,3]:

1. Строим линейные зависимости  $\alpha_i + \lambda \beta_i$ , как показано на рис.3.

2. Определяем точки  $\lambda_k$  пересечения прямых. Заметим, что в каждом отрезке между двумя соседними точками  $[\lambda_k, \lambda_{k+1}]$  приоритетность участков по показателю эффективности не меняется. Поэтому каждому отрезку можно поставить в соответствие оптимальное решение задачи (6) и (7) и соответствующие значения  $C(x)$  и  $B(x)$ .

3. Решаем задачи (6) и (7) для каждого отрезка, применяя эвристический алгоритм. При этом, если изменение приоритетности участков не касается участков, вошедших в план ремонта, полученного при рассмотрении предыдущего отрезка, то очевидно, план остаётся прежним. Определяем величины  $C_k = C(x)$  и  $B_k = B(x)$  для каждого отрезка  $x$ .

4. Строим точки  $(C_k, B_k)$  на плоскости. Соответствующие варианты планов предъявляются к лицу, принимающему решение для окончательного выбора варианта плана ремонта.

**Экспериментальная часть.** Число участков равно 4. Значения величин  $c_i, b_i, d_i$  приведены в таблице 1. Строим зависимости  $\alpha_i + \beta_i$  (рис.3).

Таблица 1

| $i$        | 1  | 2   | 3 | 4  |
|------------|----|-----|---|----|
| $c_i$      | 20 | 18  | 6 | 7  |
| $b_i$      | 5  | 9   | 9 | 14 |
| $d_i$      | 5  | 6   | 3 | 7  |
| $\alpha_i$ | 4  | 3   | 2 | 1  |
| $\beta_i$  | 1  | 1,5 | 3 | 2  |

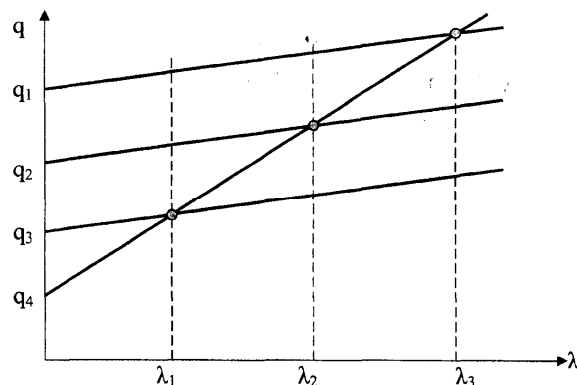


Рис.3.

Для определения точек пересечения прямых решаем линейные уравнения. Так, прямые, соответствующие участкам 1 и 2, пересекаются при  $\lambda$ , удовлетворяющему уравнению  $4 + \lambda = 3 + 1,5\lambda$  или  $\lambda = 2$ . Аналогично определяются остальные точки пересечения прямых. Определим приоритетность участков для каждого отрезка. Отрезок  $[0; 2/3]$ . Приоритетность участков  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ . Отрезок  $[2/3; 1]$ . Приоритетность участков  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ . Отрезок  $[1; 2]$ . Приоритетность участков  $3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 4$ . Отрезок  $[2; 3]$ . Приоритетность участков  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ . Отрезок  $[3; 4]$ . Приоритетность участков  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$ . Отрезок  $[4; \infty)$ . Приоритетность участков  $3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ . Решаем задачи (6) и (7) для каждого отрезка, применяя эвристический алгоритм [1,3,5]. Пусть  $C=13$ .

Отрезок  $[0; 2/3]$ . В план ремонта включены участки 1 и 2. Имеем  $C_1 = 38$  и  $B_1 = 14$ .

Отрезок  $[2/3; 1]$ . В план ремонта включены участки 1 и 3. Имеем  $C_2 = 26$  и  $B_2 = 14$ .

Заметим, что при рассмотрении отрезка  $[1;2]$  в план ремонта включены те же участки 1 и 3, поскольку оба входят в план ремонта, полученного при решении задачи для предыдущего отрезка.

Отрезок  $[2;3]$ . В план ремонта включены участки 2 и 3. Имеем  $C_3 = 24$  и  $B_3 = 18$ . Те же участки будут включены в план ремонта при рассмотрении отрезка  $[3;4]$ .

Отрезок  $[4;\infty]$  В план ремонта включены участки 3 и 4. Имеем  $C_4 = 13$  и  $B_4 = 23$ . 4 шаг. Окончательно получены 4 варианта плана ремонта, представленные на рис.4.

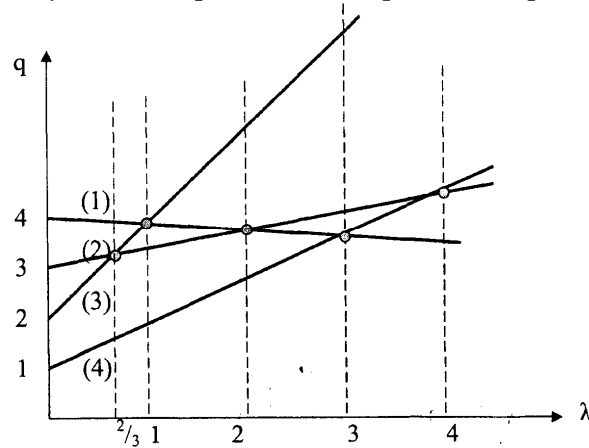


Рис.4.

Вариант  $(C_2; B_2) = (28; 14)$  можно исключить, поскольку он доминируется вариантом  $(C_1; B_1) = (38; 14)$ . Исследуем чувствительность плана ремонта к небольшому изменению уровня финансирования. Возьмем  $C=15$ , то есть на 2 единицы больше:

Отрезок  $[0; 2/3]$ . В план ремонта включены участки 1,2 и 3. Имеем  $C_1 = 44$  и  $B_1 = 23$ . Нетрудно проверить, что на отрезках  $[0; 2/3]$ ,  $[1; 2]$  и  $[2; 3]$  план ремонта не меняется.

Отрезок  $[3; 4]$ . В план ремонта включены участки 3,2 и 1. Действительно, хотя приоритетность участков на этом отрезке  $3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ , но участок 4 не может быть включен ввиду недостаточности финансирования. Поэтому включим в план участок 1. Имеем, как и в первом варианте  $C_1 = 44$  и  $B_1 = 23$ .

Отрезок  $[4;\infty]$ . В план ремонта включены участки 3,4 и 1. Имеем  $C_2 = 33$  и  $B_2 = 28$ . Полученные варианты показаны на рис.5 крестиками.

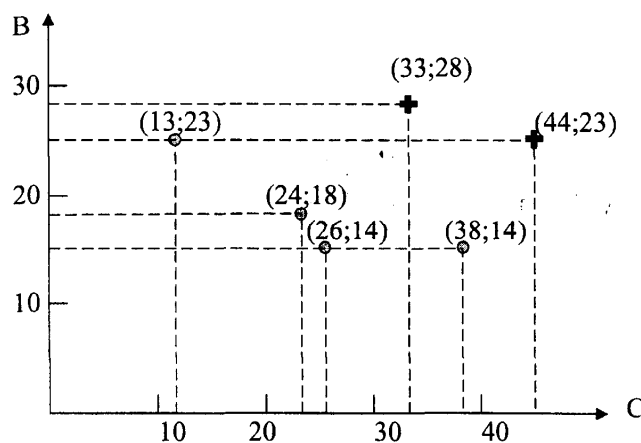


Рис.5.

**Вывод.** Предложенный алгоритм отличается простотой реализации и даёт ЛПР достаточно большое число вариантов для выбора.

### Список литературы

1. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст]: монография / Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Вакулин А.И., Логачев В.Н. – Воронеж, 2011. – 127 с. – Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
2. Кондрашова, Е.В. Модель определения экономических границ зон действия поставщиков материалов в условиях вероятностного характера дорожного строительства лесовозных автомобильных дорог [Текст] / Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В. // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 8 – С. 379-385.
3. Кондрашова, Е.В. Информационно-аналитическое сопровождение процесса управления качеством автомобильных дорог в районах лесозаготовок сопровождение процесса управления качеством автомобильных дорог в районах лесозаготовок [Текст] / Кондрашова Е.В. // *Современные наукоёмкие технологии*. – Москва, 2011. – №1. – С. 83-84.
4. Кондрашова, Е.В. Прогнозирование влажности грунтов земляного полотна лесовозных автомобильных дорог [Текст] / Кондрашова Е.В. // *Фундаментальные исследования*. – Москва, 2011. – №4. – С. 83-88.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610906. Программа расчета транспортной составляющей себестоимости перевозок по лесовозным автомобильным дорогам [Текст] / Кондрашова Е. В., Скворцова Т. В., Волков А. М., Лобанов Ю. В.; правообладатель ГОУ ВПО "ВГЛТА". – № 2009616821; заявл. 30.11.2009; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.01.2010.
6. Скворцова, Т.В. Влияние дорожных условий на режимы движения лесовозного автотранспорта [Текст] / Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В. // *Международный журнал экспериментального образования*. – Москва, 2010. – №10. – С. 92-94.
7. Скворцова, Т.В. Обоснование ресурсных показателей при строительстве лесовозных автомобильных дорог [Текст] / Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В., Скрыпников А.В. // *В мире научных открытий*. – Красноярск, 2011. – № 9.6. – С. 1841-1848.
8. Скрыпников, А.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог [Текст] / Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. // *Фундаментальные исследования*. – Москва, 2011. – № 8 (ч.3). – С. 667-671.

#### Рецензенты:

Сушков С.И., д.т.н., профессор, директор, «Теллермановское опытное лесничество» Института лесоведения РАН, г. Воронеж.

Подольский В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой строительства автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.