

УДК 658.7

## ЭТАПНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ

И.М. ЦАРЕНКОВА

(Белорусский национальный технический университет, Минск)

*Исследуется повышение пропускной и провозной способности автомобильных дорог путем проведения реконструктивных мероприятий. Выбор оптимального варианта повышения пропускной способности автомобильной дороги за счет реконструктивных мероприятий производится по схеме этапного увеличения пропускной способности автомобильной дороги с использованием метода динамического программирования. Предложена методика этапности проведения реконструкции отдельных участков дороги с использованием выделенных инвестиций, позволяющая получить оптимальный вариант. Формирование оптимальной схемы реконструкции автомобильной дороги производится на сетке «состояния – время». Для определения приоритетных участков дороги с целью повышения пропускной способности при проведении реконструкции используется системный подход. В соответствии с принятым критерием оптимизации разработанный метод позволит определять участки дороги для проведения реконструктивных мероприятий с установлением сроков их проведения с достижением максимального эффекта от вложенных средств.*

**Введение.** В настоящее время транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог общего пользования недостаточно удовлетворяет потребности народного хозяйства в автомобильных перевозках, так как некоторые параметры дорог не соответствуют размерам движения, ежегодно увеличиваются недоремонты автомобильных дорог, наблюдается недостаточная ровность покрытия, перегрузка отдельных участков, несвоевременное восстановление ежегодного износа. Все это ведет к снижению скоростей движения и уменьшению пропускной способности автомобильных дорог.

Мощным средством увеличения пропускной способности автомобильных дорог является их реконструкция. Реконструкции подвергаются те участки, которые являются причиной повышенной аварийности или имеют резко сниженные транспортные качества дороги. Средств, выделяемых на реконструкцию и ремонт дорог для поддержания их в хорошем транспортном состоянии явно недостаточно, поэтому представляется целесообразным определение оптимального распределения инвестиций в реконструкцию участков автомобильных дорог для достижения максимального эффекта от вложенных средств.

В программе «Дороги Беларуси» на 2006 – 2015 годы намечено выполнение реконструкции на 79 км и капитального ремонта на 1332 км автомобильных дорог. В результате все автомобильные дороги на направлениях международных транспортных коридоров к концу 2015 года обеспечат пропуск транспортных средств с нагрузкой на одиночную ось в 11,5 т [1].

Вопросам повышения скоростей движения потоков автомобилей в различных дорожных условиях посвящены работы В.В. Сильянова [2]. В работах В.С. Лукинского предлагается оценивать затраты времени на движение и преодоление всех препятствий на маршруте транспортного потока моделированием времени движения автомобиля [3]. Проблема снятия ограничений скорости решается с учетом проведения реконструктивных мероприятий участков дорог на основе системного анализа и принципов динамического программирования [4].

Анализируемые методики по данному вопросу не учитывают совместную работу сети дорог какого-либо полигона, а также технологию и организацию производства этих работ. Предлагаемая методика позволяет получить оптимальную схему проведения реконструктивных мероприятий с минимальными затратами.

Для решения поставленной задачи используется метод динамического программирования, который специально приспособлен к «многошаговым» процессам. Многошаговый процесс формирования оптимальной схемы реконструкции, представляет собой управляемый процесс, т.е. имеется возможность выбирать параметры, причем на каждом шаге выбирается такое решение, от которого зависит оптимум на данном шаге и оптимум на процесс в целом. Будем называть это решение «шаговым управлением» ( $u$ ). Совокупность шаговых управлений ( $U$ ) – есть совокупное решение по управлению процессом в целом.  $U = (u_1, u_2, \dots, u_y)$ . Требуется найти комплекс таких управлений  $u_y$ , при которых функция  $F$  обращалась бы в экстремум, а поскольку в качестве критерия оптимизации выступают суммарные дисконтированные затраты, то  $S = \sum_{j=1}^y s_j \rightarrow \min$ , тогда управление  $U^*$ , при котором этот минимум достигается, будем называть оптимальным управлением, состоящим из совокупности оптимальных шаговых управлений:  $U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_y^*)$ . Оптимум, который достигается при этом управлении, обозначим как  $S^* = \min \{S(U)\}$ .

При многошаговом процессе выбираем управление на каждом шаге с учетом последующих расчетов на еще предстоящих шагах. Управление на  $j$ -том шаге выбирается так, чтобы была минимальная сумма затрат на всех оставшихся шагах плюс данный.

Предполагается учет состояния ( $S$ ) объекта управления на конец каждого периода  $i$ . Допустим известно, в каком состоянии  $S_0$  был объект управления в начале первого шага. Тогда можно выбрать оптимальное управление  $u_1^*$  на первом шаге. Применив это управление, мы изменим состояние системы на некоторое новое  $S_1^*$ ; в этом состоянии подходим ко второму шагу. Тогда также известно условное оптимальное управление  $u_2^*$ , которое к концу второго шага переводит объект управления в новое состояние  $S_2^*$  и т.д.

В результате по ходу оптимизации управления методом динамического программирования многошаговый процесс осуществляется дважды: первый раз для определения условных оптимальных управлений проходят от начала процесса к его концу; второй раз – от конца к началу, когда определяется оптимальное решение  $U^*$ , состоящее из оптимальных шаговых управлений  $u_1^*, u_2^*, \dots, u_y^*$ . Тогда общий алгоритм построения и решения модели динамического программирования, с учетом специфики оптимизации, описанной выше, можно представить следующим образом.

Введем следующие понятия:

- состояние – одна из возможных комбинаций реконструктивных мероприятий, на которых планируется реконструкция автомобильных дорог. Изменение хотя бы одного из параметров автомобильной дороги переводит систему в другое состояние;

- начальное состояние – это существующее состояние автомобильной дороги;

- конечное состояние – состояние, которое обеспечивает максимальное проведение реконструктивных мероприятий при выделенных капитальных вложениях. Конечных состояний может быть несколько. Содержание каждого из конечных состояний определяет стратегию этапного проведения реконструктивных мероприятий;

- промежуточные состояния назначаются так, чтобы обеспечить постепенное проведение реконструктивных мероприятий по всем рассматриваемым участкам дороги;

- схема этапного проведения реконструкции – это последовательность состояний во времени от начального до конечного, с фиксированными сроками перехода от каждого состояния к последующему.

Критерий экономической оценки этапного проведения реконструкции – суммарные дисконтированные затраты:

$$S_t = \sum_{i=1}^{m-1} K_{ij} \eta_t + \sum_{i=1}^m \sum_{t_n}^{t_k} C_i(t) \eta_t, \quad (1)$$

где  $K_{ij}$  – дисконтированные капитальные вложения, необходимые для обеспечения перехода из одного состояния ( $i$ ) в другое ( $j$ );  $m$  – число состояний, принятых к рассмотрению;  $t_n$ ,  $t_k$  – соответственно начальный и конечный сроки работы дороги в каждом состоянии;  $C_i(t)$  – дисконтированные текущие затраты в ( $i$ -том –  $m$ -ном) состоянии;  $\eta_t$  – коэффициент дисконтирования затрат;

$$\eta_t = \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

где  $E$  – норма дисконта, выраженная в виде доли единицы;  $t$  – номер шага расчета (месяц, год, квартал).

Процесс формирования оптимальной схемы состоит из подготовительного этапа и собственно расчетной процедуры. Подготовительный этап включает:

- ранжирование состояний в порядке возрастания стоимости реконструктивных мероприятий;

- определение транспортно-эксплуатационных расходов для каждого состояния;

- определение стоимости переходов от одного состояния к другому (если такие переходы существуют).

Допустим, на существующей автомобильной дороге необходимо увеличить поэтапно пропускную способность. Требуемую и возможную пропускную способность при определенном техническом состоянии в пределах расчетного периода  $T$  удобно представить в виде зависимостей:

$$N_t = f(t) \text{ и } N_b = f(t),$$

где  $N_t$  и  $N_b$  – требуемая и возможная пропускные способности автомобильной дороги (рис. 1).

На рисунке линии 1, 2, 3, 4, 5 показывают возможную пропускную способность дороги в пределах расчетного периода при определенном техническом состоянии дороги:

- состояние 1 – существующее;

- состояние 2 – производится работы по укреплению обочин, выборочному улучшению видимости в местах, где это необходимо для обеспечения возможности обгонов;

- состояние 3 – ямочный ремонт;

- состояние 4 – выполняются работы по переустройству наиболее загруженных пересечений и дополнительных полос на подъемах;
- состояние 5 – устройство нового дорожного покрытия.

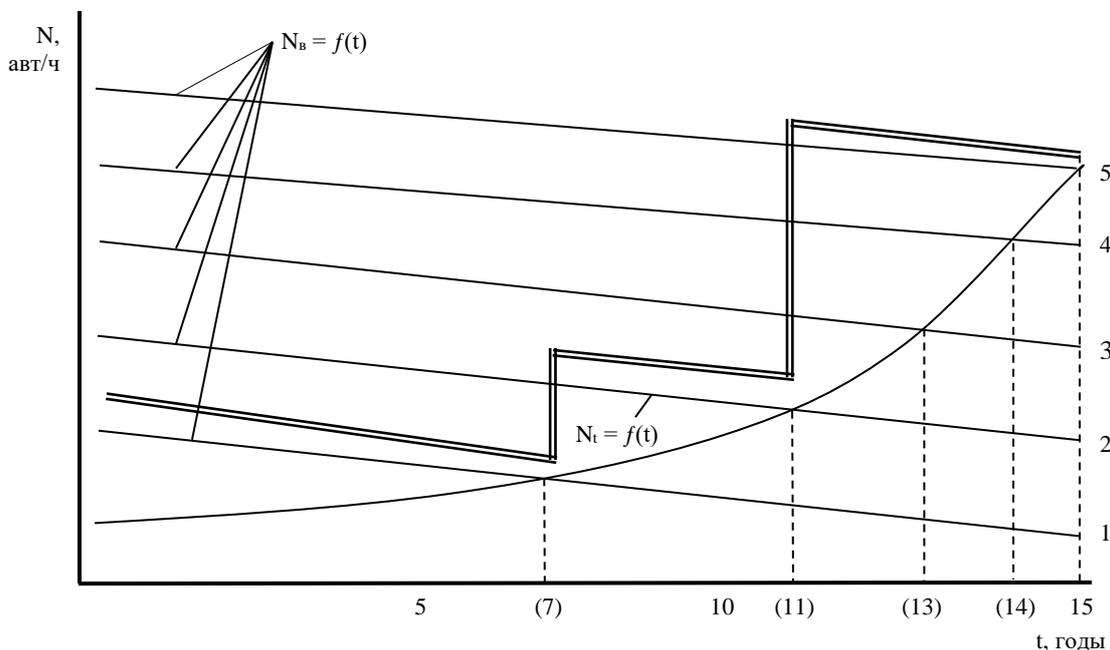


Рис. 1. Этапное увеличение пропускной способности существующей автомобильной дороги

Нисходящий характер этих линий обусловлен тем, что с ростом интенсивности движения по годам эксплуатации скорость потока автомобилей уменьшается, а следовательно, уменьшается и возможная пропускная способность дороги. Требуемая пропускная способность увеличивается в целях освоения возрастающих объемов перевозок и увеличения скорости движения. Точки пересечения линий  $N_i = f(t)$  и  $N_b = f(t)$  означают время, после которого техническое состояние дороги не сможет обеспечить требуемую пропускную способность. В этом случае необходимо переходить к следующему состоянию. Эту информацию удобно представить в виде сетки «состояния – время» (рис. 2).

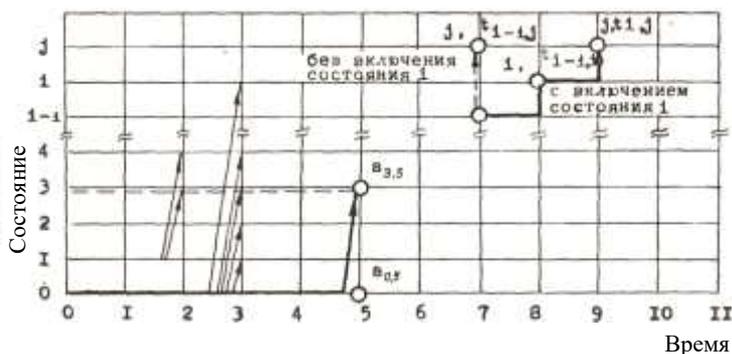


Рис. 2. Процедура формирования оптимальной схемы реконструкции автомобильной дороги на сетке «состояния – время»

Исходными данными для формирования оптимальной схемы являются матрицы стоимости переходов из состояния в состояние и транспортно-эксплуатационных расходов, определенные по всем состояниям на все годы эксплуатации с учетом дисконтирования затрат. Формирование оптимальной схемы реконструкции осуществляется на сетке «состояния – время».

В качестве узлов на сетке приняты точки пересечения состояний и времени. Это позволяет проанализировать все переходы из состояния в состояние во все годы эксплуатации. Возможны два пути решения поставленной задачи. Если годы перехода из состояния в состояние неизвестны, то алгоритм следующий.

Первый шаг расчета отличается тем, что к каждому узлу возможен только один подход из существующего состояния (переходы из состояния 0 во все последующие). Затем выполняются остальные

шаги расчета, т.е. рассматриваются переходы из состояния 1 во все возможные последующие, из состояния 2 во все возможные и т.д.

При этом к узлу возможны по два пути подхода: с включением состояния  $i$  и без его включения. Критерий с включением состояния  $i$  определяется:

$$S_{ij} = S_{i-1,i} + K_{ij} \eta_{ij} + \sum_{t_{i-1,i+1}}^{t_{ij}} C_i(t) \eta_t, \quad (3)$$

без включения состояния:

$$S_{ij} = S_{i-1,j} + \sum_{t_{i-1,i+1}}^{t_{ij}} C_i(t) \eta_t, \quad (4)$$

где  $S_{i-1,i}$ ,  $S_{i-1,j}$  – оптимальные критерии узловых точек, выявленные на предшествующем шаге расчета.

Со второго шага расчета производится выбор наименьших оценок в узлах с одновременной фиксацией наименьшего критерия и соответствующего ему пути подхода.

Если годы перехода из состояния в состояние известны (см. рис. 1 – точки пересечения возможной и требуемой пропускной способности автомобильной дороги), то переходы из состояния в состояние рассматриваются в узлах сетки только до года перехода. В остальном процедура расчета производится по приведенному выше алгоритму.

Оптимальная схема восстанавливается в обратном порядке по минимальным путям подхода к узлам, начиная с последнего шага расчета. Сформированная схема реконструкции автомобильной дороги, на сетке «состояние – время» переносится на график этапного увеличения пропускной способности автомобильной дороги (см. рис. 1). Согласно схеме, при существующем техническом состоянии дорога работает до седьмого года эксплуатации, затем намечается переход к состоянию 2. Для этого необходимо на 7-м году эксплуатации произвести работы по укреплению обочин, выборочному увеличению видимости. В этом состоянии дорога эксплуатируется до одиннадцатого года, на одиннадцатом году намечается переход к состоянию 5, т.е. на 11-м году эксплуатации должен быть произведен капитальный ремонт существующей дорожной одежды. При использовании такой схемы реконструкции достигается максимальный эффект от вложенных средств.

Формирование оптимальной схемы этапного проведения реконструкции автомобильных дорог целесообразно выполнять с помощью ЭВМ, что позволит рассмотреть большее число состояний.

Предложенная методика позволяет формировать не только оптимальную схему реконструкции автомобильных дорог, но и использовать ее для формирования оптимальной схемы проведения капитальных ремонтов на сети автомобильных дорог.

### Выводы

1. Выбор оптимального варианта повышения пропускной способности автомобильной дороги за счет реконструктивных мероприятий производится по схеме этапного увеличения пропускной способности автомобильной дороги с использованием метода динамического программирования.

2. С целью повышения пропускной и провозной способности автомобильной дороги (снятия ограничений скорости движения автомобилей) разработана методика, с помощью которой определяются приоритетные участки дороги для проведения реконструктивных мероприятий с установлением сроков их проведения.

3. Разработанная методика этапности проведения реконструкции отдельных участков дороги с использованием выделенных средств позволяет получить оптимальный вариант реконструкции дороги.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Программа «Дороги Беларуси» на 2006 – 2015 годы. – Минск: РУП «Белгипродор», 2006. – 103 с.
2. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
3. Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели / В.С. Лукинский [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 280 с.
4. Царенкова, И.М. Оптимальная стратегия реконструкции автомобильной дороги / И.М. Царенкова, Т. Р. Кисель // Вестник БНТУ. – 2007. – № 1. – С. 56 – 59.

Поступила 02.04.2007