

УДК 656.11: 625.7

## ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ РЕГИОНА

А.Т. Лановой

*Национальный транспортный университет, Киев*

## OPTIMIZATION OF THE REGION'S TRANSPORT SYSTEM MANAGEMENT

A.T. Lanovy

*National Transport University, Kyiv*

Исследуется функционирование сети автомобильных дорог общего пользования как элемента транспортной системы Украины, причем как элемент сложной системы сеть автомобильных дорог может рассматриваться как транспортная система во время ее функционирования, имеет целью обеспечение условий непрерывного, безопасного и удобного движения транспортных потоков автомобильными дорогами общего пользования Украины. Для достижения этой цели необходима оптимизация управления транспортной системой региона с определением необходимых критериев управления. Доказано, что наиболее полно отвечает целям функционирования сети автомобильных дорог показатель «Производительность работы автомобильной дороги», который является показателем эффективности ее функционирования в том, что наилучшим образом описывает движение больших по объемам транспортных потоков с достаточно большими скоростями движения при условии обеспечения необходимого уровня безопасности дорожного движения. Главным преимуществом этого показателя является учет скорости движения транспортного потока наряду с учетом его интенсивности. Доказано, что транспортная система региона является управляемой, так как процессы, которые в ней происходят, могут быть оптимизированы.

**Ключевые слова:** сеть автомобильных дорог, функционирование, развитие в условиях непрерывного, безопасного и удобного движения транспортных потоков, транспортная система региона, управление функционирования сети автомобильных дорог общего пользования.

The network of public roads as a part of the transport system of Ukraine is studied. As a part of a complex system of network of roads it can be considered the transport system in operation, which aims at to ensure the conditions of continuous, safe and convenient movement of traffic public roadways for the use in Ukraine. To achieve this goal it is necessary to get optimization of the transport control system in the region with the necessary determination management of criteria. It is proved that the indicator "Performance of the highway" fully meets the purpose of the highways network, which is a measure of the efficiency of its operation that best describes the movement of large volumes of traffic with high enough speeds, provided that the required level of road movement. The main advantage of this indicator is a consideration the speed of the traffic flow along the light intensity. It is proved that the transport system of the region is controlled so that the processes that occur in it can be optimized.

**Keywords:** road network, operation, development and conditions continuous, safe and comfortable traffic flows regional transport system, management functioning network of public roads.

### Введение

Ограниченность природных, производственных и трудовых ресурсов не позволяет достичь идеального состояния жизнедеятельности общества. Совокупность всех материальных потребностей человечества превышает производительные возможности всех имеющихся ресурсов. Поэтому абсолютный материальный достаток является недостижимым. Итак, существует проблема эффективного использования ограниченных ресурсов или управления ими с целью максимального удовлетворения материальных потребностей общества. При этом анализ функционирования сети автомобильных дорог в транспортной системе Украины может обнаружить их эффективность не только со стороны улучшения показателей материального производства, но и решение многих социальных вопросов, возникающих в обществе. Корни указанного кроются в проблеме эффективного использования ограниченных ресурсов [1].

В статье исследуется само функционирование сети автомобильных дорог общего пользования

как элемента транспортной системы Украины, причем как элемент сложной системы сеть автомобильных дорог может рассматриваться как транспортная система во время ее функционирования, имеет целью обеспечение условий непрерывности, безопасности и удобства движения транспортных потоков автомобильными дорогами общего пользования Украины.

### 1 Принципы эффективного функционирования и развития транспортной системы региона

Анализ макроуровня функционирования сети автомобильных дорог общего пользования [2] следует ограничивать границами отдельных регионов Украины из-за разнообразия административных, экономических и социальных факторов, присущих отдельным областям нашей страны, а также из-за факторов природно-климатического и дорожно-транспортного характера. Далее рассмотрены вопросы, касающиеся возможности управления транспортной системой «Автомобильные дороги государственного и местного значения – Национальные и международные

транспортные потоки» (АДГМ – НМТП) именно для региона (области или района).

При оптимизации управления транспортной системой региона АДГМ – НМТП (микроуровень анализа функционирования сети автомобильных дорог общего пользования) можно стремиться к достижению различных целей (критериев оптимальности) и, в зависимости от этих целей, рассматривать различные задачи рационального управления функционированием этой транспортной системы. На автомобильном транспорте, включая в это понятие сеть его путей сообщения (автомобильные дороги), важнейшими считались такие задачи [3]:

- обеспечение наименьшего времени сообщения при ограниченных и заранее заданных дорожных расходах;
- обеспечение заданного (расчетного) времени сообщения при возможно наименьших дорожных расходах;
- обеспечение наименьших транспортных расходов при ограниченном (заданном) уровне дорожных расходов;
- обеспечение наименьших дорожных расходов при ограниченном (заданном) уровне транспортных расходов;
- обеспечение максимально возможного уровня безопасности движения при ограниченном (заданном) уровне дорожно-эксплуатационных затрат;
- обеспечение заданного (необходимого) уровня безопасности движения при наименьших возможных дорожно-эксплуатационных затратах;
- достижение минимума дорожно-эксплуатационных затрат при обеспечении заданного объема перевозок (движения), заданной скорости и необходимой безопасности движения;
- обеспечение максимальной пропускной способности дороги при ограниченном (заданном) уровне дорожно-эксплуатационных затрат.

По своим параметрам транспортная система АДГМ – НМТП относится к сложным системам, основными характеристиками функционирования которых являются: показатель эффективности; устойчивость; помехозащищенность; надежность. Далее под надежностью функционирования системы следует понимать обеспечение необходимого уровня безопасности дорожного движения, под помехозащищенностью – обеспечение условий непрерывного движения, а под устойчивостью – достижение необходимой скорости движения.

Итак, для управления транспортной системой АДГМ – НМТП нужными является исследование и разработка следующих задач:

- оценка и прогнозирование интенсивности движения и состава транспортных потоков;
- оценка и прогнозирование скоростей движения транспортных потоков;
- оценка дорожных условий;
- оценка и прогнозирование условий непрерывного движения;

– оценка и прогнозирование уровней безопасности движения;

– оценка и прогнозирование условий удобного движения;

– оценка и прогнозирование дорожных расходов на улучшение условий движения;

– оценка и прогнозирование производительности работы автомобильных дорог;

– разработка системы сбора и переработки информации с целью оценки и прогнозирования работы транспортной системы АДГМ – НМТП (этот вопрос включает также разработку технических средств для сбора и переработки информации);

– организация системы управления с оценкой и прогнозированием показателей функционирования транспортной системы АДГМ – НМТП.

В качестве показателя эффективности транспортной системы АДГМ – НМТП должен быть избран максимум объема и скорости движения, с которыми справляется система при условии, что уровни безопасности и удобства движения не ниже, а дорожные расходы обеспечивают достижения показателем эффективности соответствующей величины.

Имея значение показателя эффективности и допустимые пределы снижения уровня эффективности при неудовлетворительных условиях функционирования системы (отказ, препятствия и т. п.), можно предложить обоснованные требования к надежности, устойчивости, помехозащищенности, качества управления, других свойств системы, а также возможного ресурсного обеспечения ее функционирования.

Для расчетов, связанных с определением требований к сложным системам, и, непосредственно, к системе АДГМ – НМТП, необходимо использовать методы математического моделирования. При расчете отдельные элементы сложных систем заменяются упрощенными эквивалентными схемами (алгоритмами). Построенная таким образом статистическая модель используется для определения эффективности различных вариантов структуры и набора параметров, а также выбора оптимального варианта.

Для обеспечения эффективного функционирования транспортной системы региона АДГМ – НМТП нужной является организация специального органа управления – службы по оценке и прогнозированию показателей функционирования этой системы.

Автомобильные дороги являются первичным элементом благоустройства, активно возникают на территориях, которые вводятся в планирование любого региона, независимо от степени их общей архитектурно-планировочной подготовки.

Существуют территории, на которых строятся автомобильные дороги, которые уже имеют какую-то сеть дорог. Такая существующая сеть дорог ограничивает проектную деятельность. При

этом приходится ограничивать область возможных вариантов инженерно-планировочных решений, приспособляя их к существующей сети автомобильных дорог, или же полностью или частично изменять очерк сети, прокладывая новые дороги и истребляя старые или переводя их в категорию автомобильных дорог местного значения.

Следует подчеркнуть, что повышение объемов движения приводит к необходимости увеличения ширины проезжих частей и плотности сети автомобильных дорог.

На конфигурацию сети автомобильных дорог региона также влияют:

- функциональное зонирование территории региона;
- размещения грузообразующих и грузопоглощающих пунктов в регионе;
- направление и мощность внешних и внутренних транспортных связей;
- характер и размещения туристических маршрутов и зон отдыха в регионе;
- природно-климатические, гидрологические и гидрогеологические условия региона;
- роль и зона влияния городов-центров (промышленных, административных, культурных), обслуживающих жителей отдельных областей в регионах, которые рассматриваются.

Формализованная схема анализа функционирования транспортной системы региона АДГМ – НМТП складывается из пяти уровней-принципов анализа.

*Первый уровень-принцип «Обстановка, сложившаяся исторически»* – рассмотрение социально-экономических условий регионов, которые исторически сложились:

- население региона, тыс. чел.;
- площадь региона, кв. км;
- средний радиус удаленности границ региона от автомобильных дорог государственного значения, км;
- плотность сети дорог (отдельно – государственного и местного значения) в регионе, км / кв. км.

*Второй уровень-принцип «Экономико-географический»:*

- расположение автомобильных магистралей относительно основных грузо- и пассажирообразующих, грузо- и пассажиропоглощающих точек региона с учетом их влияния на экономику региона и страны;
- размещение городов региона и обеспеченность их автомобильным сообщением;
- макроэкономические показатели регионов, которые соединяют автомобильные магистрали между собой и с другими странами.

*Третий уровень-принцип «Дорожно-транспортный»:*

- количество автомобильных дорог местного значения, пересекающих автомобильные дороги государственного значения и их удаленность друг от друга;

- направление и мощность внешних и внутренних транспортных связей;
- наличие параллельных автомобильных дорог государственного значения.

*Четвертый уровень-принцип «Критериальный»* (факторы управляемые):

- определение средней величины зоны влияния различных маршрутов движения к сети автомобильных дорог государственного значения;
- обеспеченность различных частей региона по времени сообщения;
- обеспеченность необходимого уровня безопасности дорожного движения;
- обеспеченность необходимого уровня удобства дорожного движения;
- определение эффективности функционирования транспортной системы региона АДГМ – НМТП.

*Пятый уровень-принцип «Управляющие воздействия»:*

- совершенствование инженерно-планировочных решений автомобильных дорог, в том числе: совершенствование параметров геометрических элементов автомобильных дорог, включающих увеличение радиусов кривых в плане, уширения проезжей части на одну полосу движения, приведение в соответствие габаритов мостов к ширине проезжей части автомобильных дорог на подходах к мостам и т. д.;
- повышение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог, в том числе: совершенствование транспортно-эксплуатационных характеристик покрытий проезжей части и обочин автомобильных дорог, включая оборудование покрытий проезжей части шероховатой поверхностной обработкой, обеспечение необходимого равенства покрытий, укрепления обочин и кромки проезжей части и т. д.;
- внедрение рациональных схем организации дорожного движения, в том числе: совершенствование обустройства автомобильных дорог путем устройства дорожной разметки, установка дорожных знаков и транспортных и пешеходных ограждений, оборудование переходно-скоростных полос, площадок для стоянки автомобилей у придорожных сооружений дорожного сервиса, площадок отдыха, автобусных остановок и автопавильонов, освещение дорог, строительства пешеходных дорожек и т. д.;
- внедрение интеллектуальных транспортных систем на автомобильных магистралях, а также строительство новых автомобильных дорог.

Первые три уровня-принципы являются исходными для четвертого и, особенно, пятого уровня-принципа анализа системы, как определяющих по эффективному функционированию и развитию транспортной системы региона АДГМ – НМТП.

Необходимо остановиться на двух последних уровнях-принципах формализованной схемы

анализа функционирования транспортной системы региона АДГМ-НМТП. Для фактического обоснования совершенствования инженерно-планировочных решений автомобильных дорог и рациональных схем организации дорожного движения ими, национальных и международных транспортных потоков, необходимо пользоваться принципом обеспеченности разных регионов по времени сообщения:

$$T_{АДГЗ} \leq T_{АДМЗ},$$

где  $T_{АДГЗ}$  – время движения с использованием автомобильной дороги государственного значения.

При этом движение с использованием автомобильной дороги государственного значения предполагает движение непосредственно по ней и отдельным подъездом к ней:

$$T_{АДГЗ} = T_n + T_{АМ},$$

где  $T_n$  – время движения по направлению подъезда к автомобильной дороге государственного значения;  $T_{АМ}$  – время движения непосредственно по автомобильной дороге государственного значения.

Опуская промежуточные расчеты, минимально необходимая скорость движения по автомобильной дороге государственного значения (по автомагистрали), исходя из указанных выше соотношений, должна быть

$$V_{АМ} \geq \frac{V_{АДМЗ}(L_n + L_{АМ})}{L_{АДМЗ}},$$

но не менее заранее заданной скорости движения в соответствии с показателем эффективности транспортной системы региона АДГМ – НМТП.

Для существующих автомобильных магистралей обратным действием можно найти зоны района (региона), транспортное использование которых тяготеет к использованию автомобильной дороги государственного значения:

$$L_n = V_n \left( \frac{L_{АДМЗ}}{V_{АДМЗ}} - \frac{L_{АМ}}{V_{АМ}} \right).$$

Пользуясь знанием зоны тяготения к автомобильной магистрали, можно определить нижний предел средней скорости соединения с использованием сети автомобильных дорог государственного значения.

Вышеупомянутым критериям (через признание зоны тяготения к автомобильной магистрали и время движения по маршруту с ее использованием) проверяется увязка функционирования сети дорог государственного значения с планировочной структурой региона и влияние на его транспортную обеспеченность.

Таким образом, условно можно при районировании периферийной сети автомобильных дорог выделить три зоны:

1) где движение происходит непосредственно по безвездной дороге местного значения с выходом на автомобильную дорогу государственного значения;

2) где необходимо часть пути преодолеть по сети автомобильных дорог местного значения к выходу на автомобильную дорогу государственного значения;

3) где движение является рациональным только по сети дорог местного значения.

Последнее может быть определено после расчета всех вариантов для возможных направлений движения с учетом территорий региона, которые сложились.

Обычно (по работам проф. Сильянова В.В.) считают, что лучшим образом автомобильная дорога функционирует, когда скорость и плотность движения являются оптимальными из условий максимального объема движения или, другими словами, пропускной способности дороги. При этом рассчитывают уровни удобства, значению каждого из которых соответствуют определенные диапазоны трех коэффициентов: загрузка движением, скорости движения и насыщения движением. В работе [4] эта методика проанализирована и, таким образом, установлено, что оценка условий движения существующими коэффициентами не позволяет определить возможности автомобильной дороги по обслуживанию транспортных потоков, а также выявить наличие резерва. Этот метод не может быть использован для управления движением и получения оценки условий движения в конкретный момент времени. Кроме того, непонятно, как совершенствование условий движения можно связать с необходимым ресурсным обеспечением выполнения дорожных работ.

Также следует подчеркнуть, что при достижении максимального значения интенсивности движение по любой дороге становится колонным. Вероятность смены полосы при колонном движении очень мала. Остановка какого-то из транспортных средств (пытается перестроиться) приведет к кратковременному затору.

Для анализа эффективности функционирования сети автомобильных дорог общего пользования на микроуровне анализа функционирования транспортной системы региона АДГМ – НМТП является необходимой разработка нового системного подхода с определением производительности работы каждой автомобильной дороги как предприятия по предоставлению общественных услуг по обеспечению непрерывного, безопасного и удобного дорожного движения.

## 2 Экономико-математическая модель оптимального управления транспортной системой АДГМ – НМТП

Проведенные исследования показали [5], что транспортная система АДГМ – НМТП является управляемой, так как процессы, которые в ней происходят, могут быть оптимизированы. Экономико-математическая модель задачи оптимального управления транспортной системой АДГМ – НМТП имеет вид:

$$\begin{aligned} P(l_{ab}) \rightarrow \max, & \quad (2.1) \\ \bar{V} \geq V_3, \quad N \leq N(q_{opt}), \\ SL \geq \bar{SL}, \quad P(MR) \geq AC(MC), \end{aligned}$$

где  $P(l_{ab})$  – производительность работы участка автомобильной дороги длиной  $l_{ab}$ ;  $\bar{V}$  – средняя скорость движения транспортного потока на участке дороги длиной  $l_{ab}$ ;  $V_3$  – заданный уровень скорости движения транспортного потока;  $N$  – интенсивность движения транспортного потока на участке дороги длиной  $l_{ab}$ ;  $N(q_{opt})$  – интенсивность движения, соответствующая оптимальной плотности транспортного потока, исходя из условий достижения общественно-экономической эффективности работы дороги;  $SL$  – уровень безопасности движения на участке дороги;  $\bar{SL}$  – минимально необходимый уровень безопасности движения на участке дороги;  $P(MR)$  – транспортная ценность движения, соответствует предельным общественным выгодам через совершенствование условий движения транспортных потоков по автомобильной дороге;  $AC$  – средние общие общественные расходы на совершенствование условий движения транспортных потоков по автомобильной дороге;  $MC$  – предельные общественные затраты на совершенствование условий движения транспортных потоков по автомобильной дороге.

Представленная система управления достаточно отражает задачу оптимизации системы для отдельной дороги. В случае оптимизации системы для всей сети автомобильных дорог общего пользования математическая модель будет выглядеть сложнее:

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_j \Pi \rightarrow \max, \quad P(l_{ab}) \rightarrow \max, & \quad (2.2) \\ \bar{V}_{ab} \geq V_3, \quad N_{ab} \leq N(q_{opt}), \\ SL_{ab} \geq \bar{SL}, \quad P(MR)_{ab} \geq AC_{ab}(MC_{ab}), \end{aligned}$$

где  $l_{ab}$  – длина участка автомобильной дороги.

Основным параметрам, входящим в показатель производительности работы автомобильной дороги, является средняя скорость движения и объем транспортного потока (интенсивность дорожного движения). Последние, в свою очередь, являются функциями плотности движения. Таким образом, плотность движения является интегральным параметром функционирования автомобильной дороги, а ее величина существенно зависит от дорожных условий и состава транспортного потока. Следовательно, показатель производительности дороги имеет измеритель: автомобиле-километров в сутки (авт.-км/сут). Преимуществом такого измерителя является то, что если рассматривать производительность дороги с позиции пользователя дороги, то можно учитывать его как скорость движения автомобиля пользователя на рассматриваемом отрезке дороги.

Если же рассматривать этот измеритель с позиции дорожной организации, которая содержит дорогу, то он (измеритель) демонстрирует необходимость обеспечения соответствующей интенсивности непрерывного движения на участке дороги длиной в один километр. Из этого следует, что данный измеритель имеет универсальный характер, что позволяет применять его как главный универсальный измеритель эффективности работы автомобильной дороги.

### Заключение

В последующих исследованиях следует рассмотреть ограничения моделей (2.1) и (2.2) и их влияние на целевую функцию, где  $P(MR)$  – транспортная ценность движения;  $MR$  – предельные общественные выгоды от совершенствования условий движения;  $AC$  – средние общие дорожные расходы на совершенствование условий движения;  $MC$  – предельные дорожные расходы на совершенствование условий движения, а также методологические основы определения уровней безопасности движения  $SL$  и уровней удобства движения с учетом заданных значений скорости движения транспортного потока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лановий, О.Т. Макроекономічна ефективність функціонування автомобільних доріг загального користування України / О.Т. Лановий // Вісник Національного транспортного університету. – 2006. – Випуск 11. – С. 122–125.
2. Лановий, О.Т. Застосування системного підходу до оцінки значення функціонування мережі автомобільних доріг для соціально-економічного розвитку країни / О.Т. Лановий // Вісник Національного транспортного університету. В 2-х частинах: Ч. 2. – 2012. – Випуск 26. – С. 197–202.
3. Гуков, Н.И. Исследование соответствия дорожных условий требованиям транспортного потока: дисс... канд. техн. наук: 05.22.10 / Н.И. Гуков. – Киев: КАДИ, 1979. – 166 л.
4. Пальчик, А.Н. Усовершенствование методов оценки условий движения на основе учета состава транспортного потока: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.Н. Пальчик. – Киев: КАДИ, 1987. – 174 л.
5. Лановий, О.Т. Продуктивність роботи автомобільної дороги загального користування як критерій ефективності її функціонування / Лановий О.Т. // Вісник Національного транспортного університету. В 2-х частинах: Ч. 2. – 2011. – Випуск 21. – С. 173–178.



This publication is the result of the project implementation TEMPUS CERES: Centers of Excellence for young REsearchers Reg.No. 544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-JPHES.

Поступила в редакцию 14.01.16.