

УДК 621.327

докт. техн. наук, проф. И.Я. Денищенко,  
Донецкая академия автомобильного транспорта,  
к.т.н., проф. Е.А. Рейцен,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДОВ

*В статье рассматривается применение теории игр для определения оптимального режима включения (отключения) наружного освещения города.*

**Ключевые слова:** *наружное освещение, безопасность движения, интенсивность движения транспорта и пешеходов.*

В 2011 году Украина присоединилась к резолюции Генеральной ассамблеи ООН о провозглашении 2011-2020 гг. Десятилетием действий за безопасность дорожного движения.

Сейчас ежегодно в мире при ДТП погибает почти 1,3 млн. человек и если не принимать никаких действий, то к 2020 г. их количество может достигнуть 2, 5 млн. Только в Украине в 2010 году погибло 4709 чел. и травмировано более 38 тыс. чел., из них более 35% приходится на тёмное время суток. По данным МКО, если система наружного освещения города соответствует принятым нормативам и запроектирован правильный режим включения и отключения её, то количество ДТП в тёмное время суток может быть уменьшено в среднем на 30%, а среди них большинство ДТП со смертельным исходом.

Данная статья является продолжением ранее опубликованных статей в нашем сборнике [1; 2; 3], в которых рассматривалось применение методов исследования операций для решения различных градостроительных задач.

В 2001 г. нами впервые в ДБН В.2.3-5-2001 (гл. 7 Наружное освещение) при нормировании наружного освещения введено соотношение интенсивностей движения пешеходов ( $P$ ) и транспорта ( $N$ ).

Будем рассматривать функционирование системы наружного освещения как игру против природы, состояние которой определяется отношением  $P/N$  и для нахождения оптимальной стратегии использовать аппарат теории игр [4; 5; 6].

Покажем в общем случае возможность такого подхода. Допустим, что состояние природы определяется соотношениями  $P_1/N_1$ ,  $P_2/N_2$ ,  $P_3/N_3$ , в соответствие которым поставим необходимые удельные световые потоки ( $лм/м^2$ )  $F_1 < F_2 < F_3$ , т.е., когда наблюдается  $P_1/N_1$  для обеспечения наибольшей

возможной степени безопасности движения необходима величина светового потока  $F_1$ , а при  $P_2/N_2$  и  $P_3/N_3$  – соответственно  $F_2$  и  $F_3$ .

Имея состояние природы  $P_1/N_1$ ,  $P_2/N_2$ ,  $P_3/N_3$  и действия  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , можно построить матрицу потерь (табл. 1).

Таблица 1

Состояние природы	Действие		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$P_1/N_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$P_2/N_2$	$a_4$	$a_2$	$a_3$
$P_3/N_3$	$a_6$	$a_5$	$a_3$

где  $a_i$  – стоимость электроэнергии и оборудования, а также ущерб от ДТП, вызванных недостаточным освещением:

$$a_1 < a_2 < a_3 < a_4 < a_5 < a_6$$

Естественно, например, что потери  $a_6$  будут больше, чем все другие  $a_1 \div a_5$ , так как в этом случае вместо требуемой мощности  $F_3$  мы устанавливаем мощность меньшую ( $F_1 \ll F_3$ ), в результате чего количество ДТП увеличится и нам необходимо будет произвести реконструкцию освещения, установив необходимую мощность  $F_3$ , т.е., в этом случае потери  $a_6$  будут равны:

$$a_6 = a_1 + a_3 + a_{\text{дтп}} + a_{\text{пр}},$$

где  $a_{\text{дтп}}$  – ущерб, вызванный дополнительно увеличивающимся количеством ДТП;

$a_{\text{пр}}$  – потери, связанные с демонтажем и заменой ранее установленного оборудования.

Однако, трудно однозначно установить величину  $P/N$ , относящуюся к максимальному часу в тёмное время суток, так как она на протяжении принятого расчётного периода (например, 5 лет) будет всё время изменяться, необходимо говорить о наиболее вероятном значении  $P/N$ , которое можно определить экспериментально.

Допустим, установлено, что на улицах с соотношением интенсивности движения пешеходов и транспорта  $P_1/N_1$ , требующих установки мощности  $F_1$  (априорное заключение), на самом деле в половине случаев достаточно мощности  $z_1 < F_1$ , а в половине –  $z_2 < F_1$  при  $z_2 > z_1$ ; на улицах с  $P_2/N_2$ , требующих мощности  $F_2$ , на самом деле в половине случаев достаточно мощности  $z_1 < F_1$ , а в половине –  $z_3 = F_1$ ; на улицах с  $P_3/N_3$ , требующих мощности  $F_3$  в 1/3 случаев достаточно мощности  $z_3 = F_1$ , а в 2/3 –  $z_4 = F_2$ . Сведём эту информацию в табл. 2.

Таблиця 2

**Вероятность наблюдения значений  $z$  для различных состояний природы**

Состояние природы	Наблюдение			
	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$P_1/N_1$	0,5	0,5	0	0
$P_2/N_2$	0	0,5	0,5	0
$P_3/N_3$	0	0	0,33	0,67

Теперь можно выработать определённую стратегию поведения для каждого из результатов эксперимента. Например, одна из возможных стратегий может состоять в том, чтобы монтировать оборудование, обеспечивающее  $F_1$ , если наблюдается  $z_1 \ll F_1$ ;  $F_2$  при  $z_2 < F_1$ ;  $F_2$  при  $z_3 = F_1$ ;  $F_3$  при  $z_4 = F_2$ , т.е., стратегия поведения может быть записана как  $S_{1223} = (F_1; F_2; F_2; F_3)$ .

В данном случае имеется 81 стратегия (на основании правила комбинаторики известно, что из “ $n$ ” различных видов предметов число всевозможных расстановок ( $\bar{A}_n^k$ ) по “ $k$ ” предметов в каждой равно  $\bar{A}_n^k = n^k$ , т.е., в нашем случае  $A_3^4 = 81$ ). Выпишем из 81 стратегии пять произвольных (табл. 3).

Таблиця 3

Стратегия	Наблюдение			
	$z_1 \ll F_1$	$z_2 < F_1$	$z_3 = F_1$	$z_4 = F_2$
$S_1$	$F_1$	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$S_2$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_3$
$S_3$	$F_1$	$F_1$	$F_1$	$F_1$
$S_4$	$F_3$	$F_3$	$F_3$	$F_3$
...	...	...	...	...
$S_{81}$	$F_3$	$F_3$	$F_2$	$F_1$

Анализируя табл. 3, можно заключить, что стратегия  $S_2$  более консервативна, чем  $S_1$ ;  $S_3$  и  $S_4$  – совершенно игнорируют разницу в результатах наблюдений, а  $S_{81}$  вообще лишена смысла.

Как же из всех возможных стратегий выбрать оптимальную? Для этого, используя табл. 1 и 2, определим средние потери при всех возможных  $S_j$  сочетаниях состояний природы (табл.4) и стратегий. Порядок расчёта средних потерь приведен в табл.5.

Сравнивая стратегии (табл.4), мы видим, что при любом из трёх состояний природы средние потери при использовании  $S_3$  равны или больше соответствующих потерь  $S_1$ . в этом случае говорят,  $S_3$  доминирует над  $S_1$  и  $S_3$  отвергают. По этой причине отвергаем  $S_4$  (доминирует над  $S_2$ ) и  $S_{81}$  (доминирует

над  $S_2$ ). Остаються  $S_1$  і  $S_2$ , из которых нельзя выделить доминирующую. В этом случае для выбора стратегии применяется правило минимакса средних потерь, которое гласит: выбирай ту стратегию, для которой средние потери малы на столько, на сколько это возможно.

Таблица 4

Состояние природы	Стратегии					
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	...	$S_{8l}$
$P_1/N_1$	$a_1$	$0,5(a_1 + a_2)$	$a_1$	$a_3$	...	$a_3$
$P_2/N_2$	$0,5(a_4 + a_2)$	$0,5(a_2 + a_3)$	$a_4$	$a_3$	...	$0,5(a_3 + a_2)$
$P_3/N_3$	$0,33a_5 + 0,67 a_3$	$a_3$	$a_6$	$a_3$	...	$0,33a_5 + 0,67 a_6$

Таблица 5

Состояние природы	Потери			Вероятности действий			Средние потери
	Для $S_1 = (F_1 F_1 F_2 F_3)$						
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	
$P_1/N_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	1.0	0	0	$a_1$
$P_2/N_2$	$a_4$	$a_2$	$a_3$	0.5	0.5	0	$0,5(a_4 + a_2)$
$P_3/N_3$	$a_6$	$a_5$	$a_6$	0	0.33	0.67	$0,33a_5 + 0,67 a_6$
	Для $S_2 = (F_1 F_2 F_3 F_3)$						
$P_1/N_1$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	0.5	0.5	0	$0,5(a_1 + a_2)$
$P_2/N_2$	$a_4$	$a_2$	$a_3$	0	0.5	0.5	$0,5(a_2 + a_3)$
$P_3/N_3$	$a_6$	$a_5$	$a_3$	0	0	1.0	$a_3$

Выделим наибольшие средние потери для  $S_1$  и  $S_2$  (см. табл. 5). Нетрудно показать, что  $0,33a_5 + 0,67 a_6$  больше  $a_3$ , т.е., стратегия  $S_2$  является лучшей, чем  $S_1$ .

Остаётся выяснить, как практически применить найденную стратегию для управления режимом уличного освещения. В настоящее время для регулирования светового потока установленных светильников в зависимости от наблюдаемого  $P/N$  имеется несколько возможностей: при помощи включения или отключения дополнительных ламп в светильниках, находящихся на одной и той же опоре; при помощи темнителей, уменьшающих или увеличивающих световой поток и др. Наконец, для выделения оптимальной стратегии необходимо уметь определить ущерб от ДТП, величина которого учитывается в табл. 1. Для этого отсылаем читателя к нашей статье [7].

### Литература

1. Рейцен С.О. Дослідження операцій в містобудуванні (досвід кафедри міського будівництва КНУБА) / Зб. «Містобудування та територіальне планування», К.: КНУБА, 2008. – Вип. 31– С. 312-316.

2. Рейцен Є.О. Дослідження операцій в містобудівництві (досвід кафедри міського будівництва КНУБА) / Зб. «Містобудування та територіальне планування», К.: КНУБА, 2009. – Вип. 32 – С. 377-380.
3. Рейцен Є.О. Дослідження операцій в містобудівництві / Збірник «Містобудування та територіальне планування», К.: КНУБА, 2009. – Вип. 34 – С. 402-404.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятности. М.: Гизфизмат, 1962.
5. Льюс Р.Д., Райфа Х. Игры и решения. М.: Иностранная література, 1961.
6. Непман Дж., Моргеншерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970.
7. Рейцен Е.А., Кужильный И.Л. Методы оценки социально-экономического ущерба от ДТП / Наук.-техн. вісник НДЦ БДР МВС України, №1-2. – 2003. – С.5-11.

#### **Анотація**

У статті розглядається застосування теорії ігор для визначення оптимального режиму вмикання (вимикання) зовнішнього освітлення міста.

#### **Abstract**

The article observes the method of optimization the switch on (off) the system of the street lighting.