

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:

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

где $a_{\text{дмп}}$ – 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.