



DOI: [10.71167/uaceg.2025.580112](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.580112)

Получена: 04.07.2024 г.

Приета: 13.09.2024 г.

## ДИЛЕМА ЗОНА ПРИ СВЕТЛИННО РЕГУЛИРАНИ КРЪСТОВИЩА

И. Табаков<sup>1</sup>

*Ключови думи:* дилема зона, вземане на решения от водачите, жълт сигнал

### РЕЗЮМЕ

Целта на настоящата публикация е да дефинира дилема зоната при светлинно регулирани кръстовища, както и ефектите, които тя оказва върху пътното движение. Кръстовищата със светофарни уредби са места с ясно изразена динамика и сложно взаимодействие между инфраструктура, водачи и автомобили. В тази комплицирана среда водачите на моторни превозни средства са поставени пред още едно трудно предизвикателство по отношение на тяхното поведение, а именно вземане на решение дали да продължат своето движение или да спрат при светване на жълтия сигнал след края на зеления. Ето защо изследването на този проблем е важно за подобряване на безопасността на движение и намаляване на щетите от пътни инциденти.

### 1. Въведение

Да спра или да премина? Решение за част от секундата. В тази трудна ситуация сме поставени всеки ден като водачи на моторни превозни средства (МПС), когато светне жълтият сигнал на светофарната уредба, а ние сме близо до стоп-линията. От правилното ни решение зависи нашата безопасност, както и безопасността на останалите участници в движението на кръстовището.

Нека предположим, че на дадено светлинно регулирано кръстовище има само червен и зелен сигнал, без жълт. Преминаването от разрешителен към забранителен сигнал, без преход между тях, автоматично прави нарушители водачите, които са

---

<sup>1</sup> Иван Табаков, д-р инж., „Проектантско бюро Табакови“ ЕООД, e-mail: [ivan.tabakov@tabakovi.com](mailto:ivan.tabakov@tabakovi.com)

прекалено близо до стоп-линията и нямат възможност да спрат преди нея. В допълнение, реакцията им, с оглед на това да не нарушат правилата за движение, би била изключително рискова с рязко натискане на спирачката, при което се получава екстрено спиране на превозното средство. Невъзможно е автомобилът да бъде спрял в момента, в който светофарната уредба подаде червен сигнал на участниците в движението на кръстовището. Спирането е подчинено на закономерности, които не могат да се прескочат. Каквото и да се мисли, каквото и да се желае, автомобилът не може да спре веднага, в един миг. Спирането изисква време и разстояние. Колкото по-големи са техните стойности, толкова по-голяма е степента на опасността, свързана с процеса на спирането. Стойностите на времето и разстоянието зависят от скоростта, с която превозното средство се е движело преди започване на спирането. На всяка скорост, в зависимост от конкретните условия, съответства точно определено разстояние, което автомобилът трябва неизбежно да измине, преди да спре. Каквото и да прави, водачът не може да го скъси. Може единствено да го удължи, ако действа неправилно в дадената ситуация. Въпросът не се свежда само до времето и разстоянието, необходими за спиране. Преди то да започне, водачът извършва и други дейности, които са свързани също с време и разстояние. Подаването на червен сигнал трябва да бъде възприето от водача. Едва след това той е длъжен и може да вземе необходимите мерки за спиране. Но и след възприемането не следва веднага спиране. Водачът извършва и други, последващи дейности, в резултат, на които да се задвижи спирачната система. Едва след това започва същинското спиране на превозното средство. Както се вижда, става дума за сбор от дейности, всяка от които изисква време, през което автомобилът се движи и изминава известни разстояния. Тоест, от обективна гледна точка, времената за тези дейности трябва да изтекат, а съответстващите разстояния да се изминат. Така от момента, в който се възприеме внезапно появилия се червен сигнал, до момента, в който в резултат на взетите мерки автомобилът спре своето движение, ще бъде изминато определено разстояние. До този момент превозното средство се движи в една зона, в която, ако попадне стоп-линията, то не може да спре преди нея. Тази зона се нарича „опасна зона“ и е неотстранима. Тя представлява разстояние, което автомобилът изминава задължително от момента, в който водачът му започва да възприема внезапно появилия се червен сигнал, до момента, в който вследствие на извършените действия превозното средство преустанови своето движение.

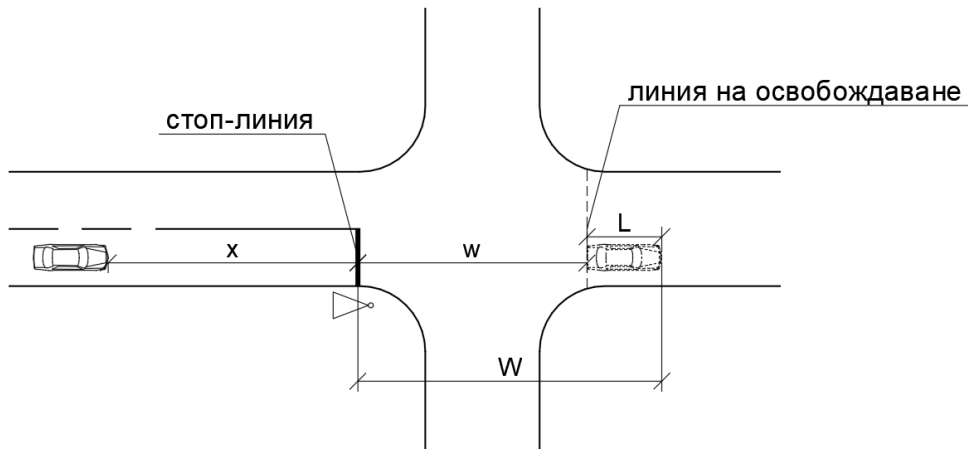
Тук идва ролята на жълтия сигнал, който дава възможност за безопасно спиране, ако стоп-линията не попада в опасната зона за спиране, или за продължаване на движението, ако стоп-линията попада в опасната зона за спиране. Жълтият сигнал има важно значение за безопасността на движението пред и на кръстовището.

## 2. Дилема зона

Различната психика на хората често води до различни решения, което е предпоставка за конфликти. Вече стана дума за „опасната зона“, която е правилно да се нарича зона на дилемата или дилема зона. Това е теоретична площ при подхода към светлинно регулирано кръстовище, при която водачът е поставен в определено състояние да вземе решение дали да спре или да продължи през кръстовището, когато има подаден жълт сигнал на светофара.

Концепцията за наличие на дилема зона при кръстовища, регулирани със светлинни сигнали, първоначално е предложена през 1960 г. от [1], която обикновено се нарича GNM модел (Gazis-Herman-Maradudin) от съкращението на имената на авторите.

Въз основа на модела на GHM, дилема зоната се определя като зона, в която автомобилът нито спира безопасно, нито продължава през кръстовището преди края на жълтия сигнал (фиг. 1) [3].



Фиг. 1. Формулировка на Gazis: Спиране и освобождаване [2]

Когато жълтият сигнал започне и водачът е на разстояние  $x$  от кръстовището, той има две възможности: или да спре автомобила преди стоп-линията, или да освободи кръстовището, преди сигналът да стане червен. Приема се постоянно ускорение  $a_+$ , ако водачът реши да премине кръстовището, и постоянно отрицателно ускорение  $a_-$ , ако водачът реши да спре превозното средство. Ускорението или забавянето на автомобила започва след забавяне във времето  $\delta_+$  или  $\delta_-$ . Широчината на кръстовището се обозначава с  $W$ , дължината на превозното средство като  $L$  и продължителността на жълтия сигнал като  $\tau$ . Ако водачът спре, без да е навлязъл в кръстовището, [1] установява, че:

$$x - v_0 \delta_- \geq \frac{v_0^2}{2a_-}, \quad (1)$$

където лявата страна е наличният спиращ път, а дясната страна е действителният спиращ път за дадено постоянно отрицателно ускорение. Ако водачът може да освободи кръстовището преди началото на червения сигнал, тогава [1]

$$x + w + L - v_0 \delta_+ \leq v_0 (\tau - \delta_+) + \frac{a_+ (\tau - \delta_+)^2}{2}, \quad (2)$$

където лявата част на неравенството е разстоянието, което трябва да бъде освободено, а дясната е разстоянието, което действително може да бъде изминато.

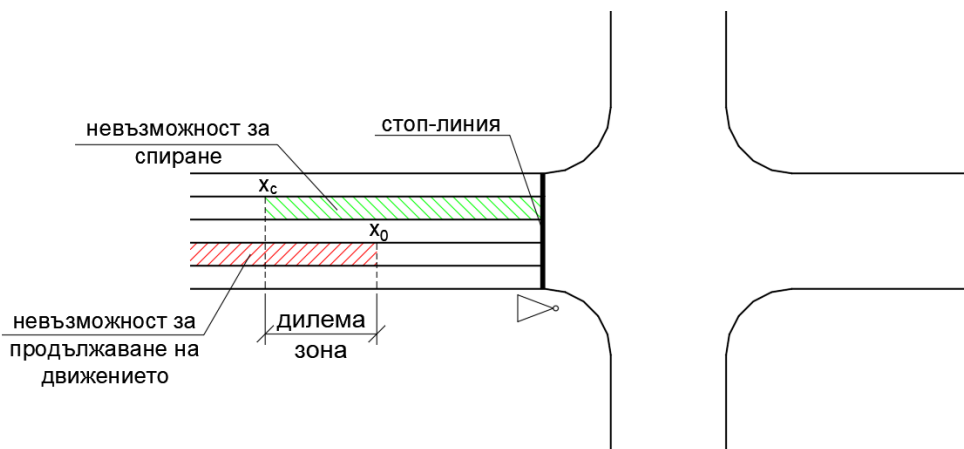
Ако се приеме, че съществува максимално допустимо отрицателно ускорение  $a_-$ , при което превозното средство може да бъде спряно безопасно преди стоп-линията, и ако се използва уравнение (1), [1] определя критичното разстояние за спиране  $x_c$ , като:

$$x_c = v_0 \delta_- + \frac{v_0^2}{2a_-}, \quad (3)$$

в рамките на което превозното средство не може да бъде спряно, без да е навлязло в кръстовището. Приемливото отрицателно ускорение обикновено се приема като  $a = 0,3g = 3 \text{ m/s}^2$ .  $x_c$  не зависи от продължителността на жълтия сигнал. [1] приема, че превозното средство се движи през кръстовището с постоянна скорост, ще може да премине линията на освобождаване, ако:

$$v_0\tau \geq x_0 + W, \quad (4)$$

където  $x_0$  е максималното разстояние, на което превозното средство може да бъде от стоп-линията в началото на жълтия сигнал и все още да може да премине линията на освобождаване при постоянна скорост, и  $W = w + L$ . По този начин, ако  $x_0 \geq x_c$ , тогава водачът ще може безопасно да спре автомобила. Ако обаче  $x_0 \leq x_c$  и водачът попадне в диапазона  $x_0 < x < x_c$ , тогава той не може нито да спре преди стоп-линията, нито да освободи кръстовището преди края на жълтия сигнал. Възможно решение за водача е да ускори към кръстовището. Водачът обаче може да наруши ограничението на скоростта, ако първоначалната му скорост вече е близо до ограничението на скоростта. По този начин обхватът  $x_0 < x < x_c$ , е обозначен като дилема зона и е илюстриран на фиг. 2.

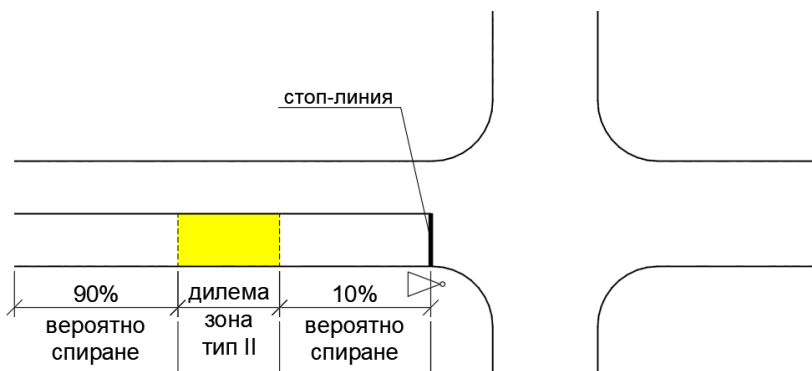


Фиг. 2. Дилема зона

Дължината на дилема зоната е:

$$D = x_c - x_0 = v_0(\delta - \tau) + \frac{v_0^2}{2a} + W. \quad (5)$$

През 1974 г. доклад на техническия комитет, изготвен от Южната секция на Institute of Transportation engineers, официално идентифицира дилема зона тип II [3], която по своята същност е опционална зона, където водачите решават дали да спрат или да потеглят (фиг. 3). Тази зона още е наречена „зона на решение“ или „зона на нерешителност“, тъй като водачът може да изпита нерешителност, когато види жълтия сигнал. Този вид дилема зона се изчислява въз основа на времето на вземане на решение от водача и обикновено се получава от 3 до 5 секунди. На практика се определя като зона, която започва там, където 90 процента от превозните средства ще спрат, и завършва там, където само 10 процента от превозните средства ще спрат по време на жълтия сигнал.



Фиг. 3. Дилема зона тип II

### 3. Поведение на водачите на моторни превозни средства

Решенията, които взимат водачите на превозни средства, когато преминават през кръстовища, регулирани със светлинни сигнали, са рискови, тъй като те не са в състояние да предвидят пътните условия на кръстовището, например движението на автомобилите пред и зад тях, особено в началото на жълтия сигнал. В такъв момент на преден план излиза психологията на всеки един отделен водач, което при всички положения довежда до случаи, когато те, движещи се един зад друг, взимат различни решения, което увеличава риска от инциденти. Размерът на дилема зоната пряко влияе върху този риск. При малка дължина на тази зона водачите, които следва да вземат решение, са малък брой и това намалява риска от предприемане на различни действия по едно и също време. Обратно, при голяма дължина на дилема зоната водачите, които взимат решение, са голям брой и това увеличава вероятността за различни решения, респективно нараства рискът от настъпване на инцидент [4].

### 4. Мерки за елиминиране на дилема зоната

Въпреки че нивото на безопасност се подобрява чрез различни видове сигнализация, проблемите с конфликтните ситуации и задръжките остават. По-конкретно, нарушенията на червения сигнал и сблъсъците отзад до голяма степен са свързани с проблема с дилема зоната, който води до увеличаване на степента на тежест на пътнотранспортните произшествия. По улиците са приложени различни мерки за контрол на движението, включително устройства за контрол на движението и инженерни стратегии, за да се улесни движението на автомобилите, на пешеходците и да се сведе до минимум рискът от наличието на дилема зона.

През годините са използвани редица мерки за елиминиране на дилема зоната и подобряване на безопасността на движение в кръстовищата. Част от тях, които се използват и в нашата страна, са устройства за обратно отчитане на времетраенето на светлинните сигнали (УООВСС) и мигачият зелен сигнал, предшестваш жълтия. И двете решения поражда редица въпроси, отговорът на които не е в полза на тяхното използване. Дилема зоната все още остава голямо предизвикателство за всички специалисти, които се занимават с проблемите на безопасността на движението, въпреки факта, че са проведени множество проучвания за намиране на най-добрия модел за

прогнозиране на реакцията на водача в началото на жълтия сигнал. В допълнение, статистическите модели не могат да отразят ситуацията на взаимодействие между последователни превозни средства и не могат да покажат ефекта от промените в транспортната система след инсталирането на нови технологии, тъй като това е много сложно. Като цяло, позитивни неща се наблюдават, когато тези сигнали, които дават допълнителна информация на водачите, са нововъведени, но когато водачите свикнат с тях, всички факти не говорят в полза на безопасността на движение при кръстовища, регулирани със светлинни сигнали.

Научните изследвания за действителното въздействие на УООВСС върху поведението на водачите са оскъдни. Освен това изводите в тях са доста разнопосочни. Повечето проучвания наблюдават само краткосрочните ефекти, но други показват, че този ефект ще намалее в дългосрочен план, вероятно поради познаването и свикването с новата сигнализация. УООВСС изглежда имат отрицателен ефект върху плътността на транспортния поток. Поради това, че водачите придобиват повече информация за началото на жълтия сигнал, те са склонни да оставят повече пространство между тях и превозното средство отпред, като по този начин намаляват плътността. Въпреки че УООВСС могат да намалят броя на страничните удари, те увеличават дилема зоната, като по този начин увеличават риска от удари отзад. Много е важно да се отбележи, че сравняването на проведените досега изследвания е много трудно. Разликите в културата на шофиране могат да повлияят значително на отношението към УООВСС. Друг важен аспект, който може да окаже влияние, е продължителността на цикъла на регулиране. Повечето от проучванията използват продължителност на цикъла около или над 200 секунди, което е много по-високо от максималното ограничение от 120 секунди, което е залегнало в нашата нормативна уредба.

Мигащият зелен сигнал при кръстовища със светлинно регулиране на движението се среща в малко държави по света. Конкретно в Европа държавата, която го използва от най-много време, е Австрия. Важно е да се отбележи, че във Виенската конвенция за пътни знаци и сигнали такъв вид сигнал не фигурира. Едно от условията, които Австрия отбелязва при подписването на конвенцията е, че „Член 23, параграф 1, буква а), i), член 23, параграф 2 и член 23, параграф 3 от Конвенцията за пътните знаци и сигнали се прилагат, с изключение на това, че зелената светлина може също да мига. Мигането на зелената светлина означава, че зеленият сигнал ще приключи“. Сигналът е въведен в Австрия на 22 май 1969 г. Причината за приемането на този подход в светлинното регулиране в Австрия не е известен. Според проучване на [5], в Европа мигащият зелен сигнал се използва само в Словения (ограничено в област Любляна). Извън Европа се среща в Израел, Куба и Йордания.

През 2012 г. [6] провеждат проучване, което дава за първи път оценка на възприятията на израелските водачи по отношение на мигащия зелен сигнал, която се използва в Израел повече от 40 години. Авторите отбелязват, че съществуват две противоречия по отношение на мигащата зелена светлина – между научните знания и изследвания и общественото възприятие, както и между обществените възприятия и заявеното поведение на водачите. Както при много други проблеми на общественото здраве (тютюнопушене, прием на алкохол и използване на предпазни колани например), възприятията на обществеността за последиците за здравето и безопасността не винаги са в съответствие с обективни доказателства и научни изследвания. Предварителните резултати показват, че, въпреки че повечето предишни изследвания показват, че мигащата зелена светлина не повишава безопасността и дори може да я намали, хората подкрепят продължителното използване на този вид сигнал. В същото време хората не разбират напълно значението на мигащото зелено или не знаят каква трябва да бъде тяхната реакция при наличието му. В резултат на това понякога водачите взимат

различни решения, което прави техните действия трудни за придвиждане. За да се премахнат тези парадокси, е важно да се гарантира, че водачите са информирани за рисковете от наличието на мигащ зелен сигнал. Авторите препоръчват – въз основа на предишни доказателства и резултатите от изследването им – да се избягва прилагането на мигащ зелен сигнал. А резултатите от проучването им показват, че намаляването на произшествията от типа „страничен удар“ води до увеличаване на сблъсъците отзад. Отбелязва се, че други технологии, като удължаване на междинните времена, могат по подобен начин да намалят броя на страничните удари, без да увеличават различията в реакциите на водачите, и по този начин да намалят риска от сблъсъци отзад. В края на документа авторите предлагат да се преосмисли използването на мигащ зелен сигнал, който би трябвало да подобри вземането на решения от водачите на превозни средства, като им даде повече информация, но разликата в реакциите им предполага, че в този случай тази допълнителна информация добавя несигурност и объркване, вместо тя да бъде ясна, проста и недвусмислена.

## 5. Заключение

Дилема зоната е проблем, който дава възможност за широк кръг от научни изследвания. При светване на жълтия сигнал водачите на моторни превозни средства са поставени в некомфортна ситуация, в която трябва да вземат решение дали да продължат своето движение или да спрат. Изследването на проблема с дилема зоната при светване на жълтия сигнал е претърпяло голямо развитие от 1960 г. Въпреки това опитите за премахване на негативните ефекти от наличието ѝ на светлинно регулирани кръстовища не са довели до устойчиви резултати. Рискът от настъпване на пътнотранспортни произшествия от вида страничен удар и удар отзад остава висок. Докато инцидентите от първия вид могат в голяма степен да бъдат елиминирани чрез междинните времена на светофарните уредби, то произшествията от вида удар отзад няма как да бъдат избегнати.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Gazis, D., Herman, R., Maradudint, A.* The problem of the amber signal light in traffic flow. Research Laboratories, General Motors Corporation, Warren, Michigan, Operations Research 8(1): 112 – 132.
2. *Urbanik, T., Koonce, P.* The Dilemma with Dilemma Zones. ITE District 6th Annual Meeting, Portland, Oregon.
3. *Zhang, Y., Fu, C., Hu, L.* Yellow light dilemma zone researches: a review. Journal of Traffic and Transportation Engineering 1(5): 338 – 352.
4. *Biswas, S., Ghosh, I.* Modeling of the Drivers' Decision-Making Behavior During Yellow Phase. KSCE Journal of Civil Engineering, 22, [10.1007/s12205-018-0666-6](https://doi.org/10.1007/s12205-018-0666-6).
5. *H. Köll, M. Bader, K. W. Axhausen.* Driver behaviour during flashing green before amber: a comparative study. Accident Analysis & Prevention, Volume 36, Issue 2, 2004, Pages 273-280, ISSN 0001-4575, [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00005-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00005-8).
6. *Factor, R., Prashker, J. N., Mahalel, D.* The flashing green light paradox, Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour, 15, 279 – 288, [10.1016/j.trf.2012.01.003](https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.01.003).

# DILEMMA ZONE AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

I. Tabakov<sup>1</sup>

*Keywords: dilemma zone, decision making by drivers, yellow signal*

## ABSTRACT

The purpose of this paper is to define the dilemma zone at light-regulated intersections, as well as the effects it has on road traffic. Intersections with traffic lights are places with distinct dynamics and a complex interaction between infrastructure, drivers and cars. In this complicated environment, drivers of motor vehicles are faced with another difficult challenge in terms of their behavior, namely deciding whether to continue their movement or to stop when the yellow light is on after the end of the green light. Therefore, the study of this problem is important to improve traffic safety and reduce the damage caused by road accidents.

---

<sup>1</sup> Ivan Tabakov, Dr. Eng., “Proektantsko Byuro Tabakovi” EOOD, e-mail: [ivan.tabakov@tabakovi.com](mailto:ivan.tabakov@tabakovi.com)