

ЕКСПЕРИМЕНТ С МОБИЛНА СТАНЦИЯ И ДИСПЕРСИОННО МОДЕЛИРАНЕ В ТЪРСЕНЕ НА ОТГОВОР НА ВЪПРОСА ТРАФИКЪТ ЛИ Е ИЗТОЧНИКЪТ НА ПИКОВИТЕ ОБГАЗЯВАНИЯ НА СТАРА ЗАГОРА С АЗОТНИ ОКСИДИ

Николай Такучев, Янка Стоянова
Тракийски университет

Резюме. Между 2006 г. и 2012 г. стационарната автоматична станция за слеждане на качеството на въздуха в Стара Загора неколkokратно регистрира надпрагови концентрации на азотен диоксид (най-високите досега в България) с продължителност няколко часа (пикове), с неизвестен източник. Основен заподозрян беше трафикът по близка до станцията улица. Бяха изследвани характерът и интензивността на въздушното замърсяване с азотни оксиди, отделено от моторните превозни средства, преминаващи през кръстовище с трафик, трикратно по-интензивен от този покрай стационарната станция. Изследването включваше броене на моторните превозни средства и последващо дисперсионно моделиране. По време на броенето общото градско замърсяване с азотни оксиди в района на кръстовището беше измервано от мобилна станция. В рамките на 7 години – 2010, 2011 и 2017, бяха проведени три изследвания на кръстовището. Беше констатирано, че за 7 години в автомобилния парк на града е настъпила промяна единствено в броя малолитражни пътнически коли – те са намалели 49 пъти. Максималните концентрации на азотни оксиди – както измерените, така и изчислените, са близки по големина, без резки надпрагови пикове и са в пъти по-малки от измерените от стационарната станция пикови стойности. Т.е. анализът на данните от експеримента показва, че трафикът не е източникът на пиковите обгазявания с азотен диоксид в Стара Загора. Замърсяването с азотни оксиди често се концентрира около югоизточния край на кръстовищата в града поради преобладаващата посока на вятъра от север-североизток.

Keywords: urban air pollution; nitrogen oxides; nitrogen dioxide; mobile station; dispersion modeling

Съкращения

МПС – Моторни превозни средства
ИАОС – Изпълнителна агенция по околна среда

МВР – Министерство на вътрешните работи

БАН – Българска академия на науките

NO_x – Сместа между газовете азотен оксид и азотен диоксид

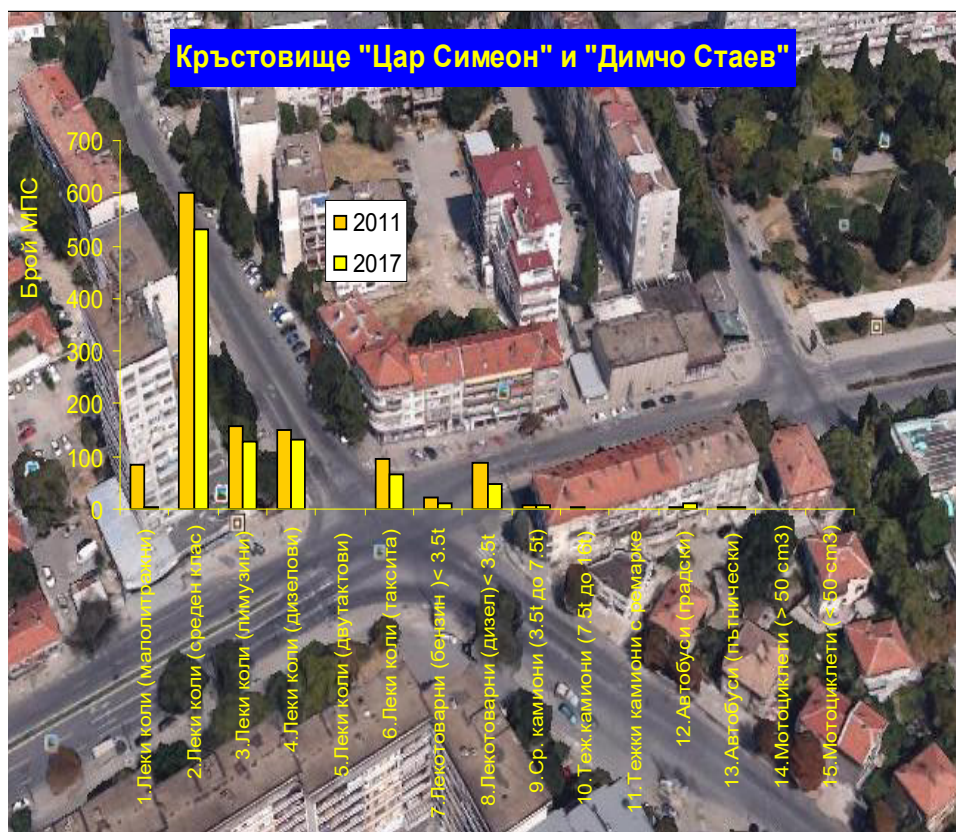
Увод

От началото на 70-те години на XX век в България започва организираният от държавата екологичен мониторинг. Става ясно, че по онова време Стара Загора (географски координати 42,43°N, 25,64°E, надморска височина 207 m, население 149 137 души по данни от преброяването към 31.12.2014 г., шести по брой на населението в страната) е сред градовете в България с най-замърсен въздух с вредни за здравето газове, между които серен диоксид, азотен диоксид, въглероден оксид, както и с фини прахови частици. Градът е с компактно разположение, развита промишленост, енергетика, оживен трафик и без централно отопление. По време на икономическата криза в страната в края на 90-те години на XX век много замърсяващи въздуха предприятия спряха работа и нивото на замърсяване на въздуха над града намаля значително. През първото десетилетие на XXI век градското замърсяване на въздуха промени характера си – на фона на сравнително ниското (подпрагово) устойчиво във времето ниво на въздушното замърсяване над града градската стационарна автоматична станция за контрол на качеството на въздуха (единствена за града) регистрира кратковременни (пикови, с продължителност няколко часа) надпрагови въздушни замърсявания. Докъм средата на десетилетието замърсяванията бяха предимно от серен диоксид, мигрирали от разположения на няколко десетки километра югоизточно от града енергиен комплекс „Марица изток“ с мина за открит добив на лигнитни въглища и топлоелектроцентрали около нея. След въвеждането в експлоатация на сероочистващи инсталации в топлоелектроцентралите в края на първото десетилетие на XXI век този вид замърсявания на въздуха над града намаляха и бяха сменени от пикови надпрагови обгазявания от азотен диоксид с продължителност часове, достигащи концентрации, четирикратно превишаващи праговата стойност (200 µg/m³) на часовата норма. Такива обгазявания бяха регистрирани през 2006 г., 2009 и 2012 г., през ноември и декември. Декемврийските обгазявания през 2009 г. са с максималната концентрация, измервана до момента в България.¹⁾ Обществеността в града реагира бурно на пиковите наднормени обгазявания – с граждански протести, полемика в медиите и петиции до всички възможни институции в държавата и в Европейския съюз. На проблемите, свързани с околната среда на Стара Загора през първото десетилетие на XXI, са посветени редица научни изследвания (например Georgieva et al., 2011; 2013; Kostadinova et al., 2011; Georgieva, 2011; Zhelyazkova, 2012; Platikanova-Ivanova, 2014), на същата тема беше посветен българо-норвежки научен проект през 2009 – 2011 г. с участието на десетки учени от двете страни. Част от натрупаната информация

във връзка с настоящото изследване беше използвана в бакалавърската теза на втория от авторите.

В изследване на замърсяванията на въздуха над Стара Загора (Takuchev, 2014a; 2014b) са приведени доводи, че за разлика от замърсяванията със серен диоксид, дължащи се на миграция на замърсителя от района на енергийния комплекс „Марица изток“ към града, замърсяванията от азотен диоксид са с източник в самия град Стара Загора. В същите публикации съотношението между годишните емисии на азотни оксиди с източник бита, промишлеността и трафика в града е оценено съответно на 16% : 21% : 63%. Т.е. оценката показва, че на годишна база трафикът е основният източник на замърсяването с азотни оксиди на въздуха над града. Споменатото изследване оценява единствено емисиите, без да дава оценка за характера на замърсяванията с азотни оксиди, които тези емисии предизвикват. Т.е. остава неизяснен въпросът дали замърсяванията с азотни оксиди са под формата на кратковременни пикове, дали са относително постоянни във времето, или са комбинация от двете. Изследването не дава отговор и на въпроса кой вид дейност – бит, промишленост или трафик, предизвиква пиковите надпрагови обгазявания.

Според оторизираните държавни органи за контрол на качеството на въздуха и местните общински власти основният заподозрян както за относително постоянното във времето замърсяване на въздуха с азотни оксиди, така и за надпраговите пикови обгазявания, е оживеният трафик по близката до стационарната станция улица. По време на пиковите обгазявания с азотен диоксид през късната есен на 2012 г. по препоръка на министъра на екологията общинските власти предприеха промени в трафика – спряха движението на моторни превозни средства (МПС) по улицата с интензивен трафик, минаваща на 30 m от стационарната градска автоматична станция за екологичен мониторинг, с надеждата това да доведе до намаление на регистрираното замърсяване. Приложената мярка не намали съществено общата регистрирана от станцията концентрация на азотни оксиди и не промени характера на замърсяването, т.е. не даде отговор на въпроса какъв е приносът на трафика за пиковите обгазявания с азотен диоксид с продължителност часове и надпрагова концентрация. Проблемът кой обгазява с пикови надпрагови концентрации на азотен диоксид остана без отговор след споменатата мярка.



Фигура 1. Разпределение по категории на МПС, навлезли в кръстовището по време на изследването: от 11:00 до 11:30 ч. на 29 декември 2010 г. и на 14 февруари 2017 г.

Снимка Google Earth. Посока север е към горната страна на снимката

Цел на описаното в настоящата работа изследване беше да потвърди или отхвърли хипотезата за трафика като източник на пиковите надпругови обгазявания. За целта бяха изследвани интензивността и характерът на замърсяването с азотни оксиди в избрана точка от града (центъра на кръстовището на две улици: булевард „Цар Симеон“ и улица „Димчо Стаев“, фиг. 1) с интензивност на трафика, трикратно превишаваща тази на трафика по улицата в близост до стационарната станция, регистрирала пиковите надпругови концентрации на азотни оксиди. Ако хипотезата, че пиковите обгазявания се дължат на трафика, се окаже вярна, би следвало при сходни метеорологични условия поради по-интензивния трафик през

кръстовището в района му да има точки с концентрация на азотни оксиди, надвишаваща регистрираните от стационарната станция надпрагови пикови концентрации.

Материал и методи

Беше приложен комбиниран метод за изследване на замърсяването с азотни оксиди, съчетание от два отделни метода, приложени едновременно: (1) с мобилна станция, позиционирана на 15 m от центъра на кръстовището, беше измервано общото градско замърсяване на въздуха от всички източници в района; (2) замърсяването с азотни оксиди в района на кръстовището с произход само от трафика беше оценено чрез броене на преминаващите през кръстовището МПС и на МПС, изчакващи за зелен сигнал на светофарите преди навлизане в кръстовището. Оценката беше получена чрез прилагане на дисперсионно моделиране – изчисление със специализиран софтуер на емисиите на азотни оксиди от преминалите през кръстовището МПС и на разпространението на замърсяването от тези емисии в района на кръстовището.

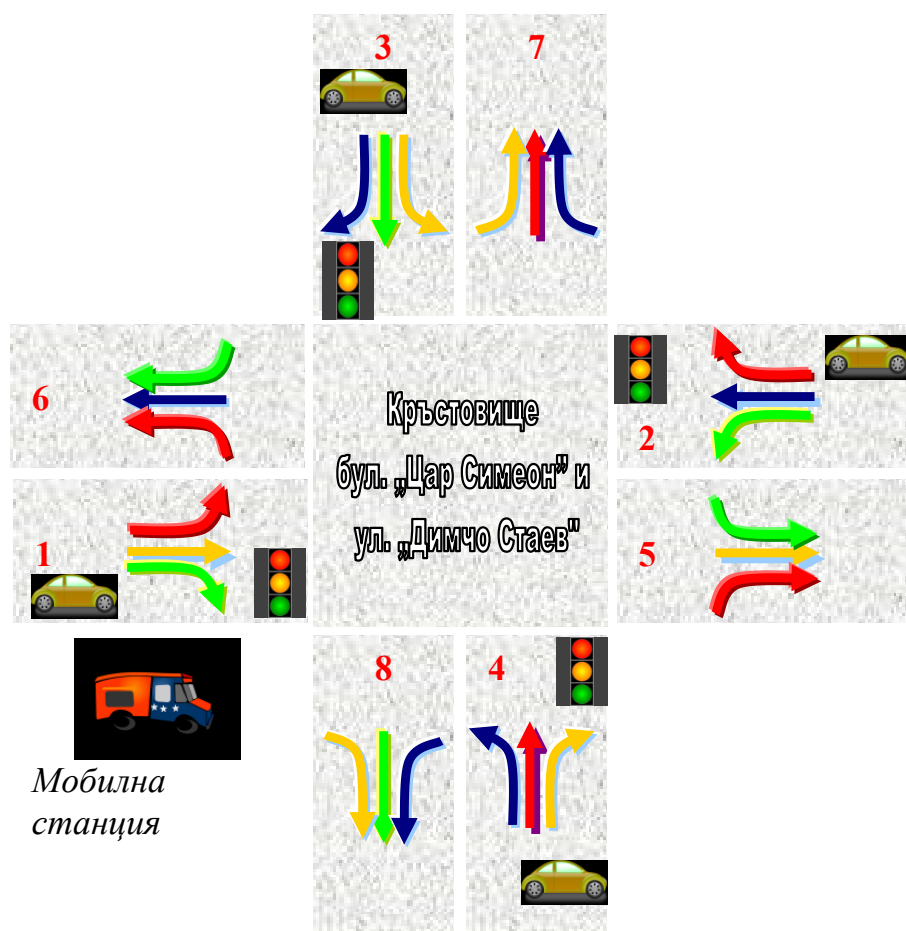
Комбинирането на двата независими метода за оценка на замърсяването разкри допълнителна информация относно произхода на замърсяването с азотни оксиди в района на кръстовището, която не би могла да бъде получена чрез прилагането на двата метода поотделно, както и позволи взаимното верифициране на данните от използваните методи.

Метеорологични условия по време на изследването

Изследването в района на кръстовището беше проведено трикратно: на 29 декември 2010 г. (сряда), на 21 януари 2011 г. (петък) и на 14 февруари 2017 г. (вторник). Времето през годината и метеорологичните условия бяха подбрани така, че да са максимално близки до условията, при които са регистрирани надпраговите концентрации от стационарната станция – в края на есента и началото на зимата, при ясно и сухо мразовито време без снежна покривка, с приземна инверсия и отрицателна температура при земната повърхност, слаб вятър. Такова метеорологично време е типично за зимата в Стара Загора.

Източници на замърсяване с азотни оксиди в района на кръстовището

Освен трафика източници на въздушно замърсяване в района на кръстовището през зимата са горивни инсталации на природен газ за отопление на близки болница и училище, както и битовото отопление в ограждащия кръстовището жилищен район. На 1800 m по права линия в югоизточна посока от кръстовището се намира промишлен източник, изгарящ биомаса и отделящ 60% от промишлените емисии на азотни оксиди в града.



Фигура 2. Схема на преминаващите през кръстовището 8 номерирани потока МПС

С фигура на лек автомобил са означени изчакващите на червен светофар МПС с работещи на празен ход двигатели (четири статични източника). Отбелязана е и позицията на мобилната станция по време на измерването – долу вляво на фигурата

Измерване с мобилна станция

По време на изследването през 2010/2011 г. в района на кръстовището работеше мобилна станция на Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС), която измерва метеорологични параметри (в частност необ-

ходимите за изследването температура, посока и скорост на вятъра) и концентрации на замърсители, в частност на азотни оксиди. Мобилната станция беше позиционирана на тротоара на 15 m от точката с предполагаемо висока концентрация на замърсяването – центъра на кръстовището (фиг. 2). Това разстояние е два пъти по-малко от разстоянието между стационарната станция и близката до нея улица с интензивен трафик и би следвало да се очаква при еднакви други условия на измерване мобилната станция да регистрира по-високи концентрации на азотни оксиди във въздуха поради по-голямата си близост до потока от МПС. Както стационарната, така и мобилната станция преминават периодично през метрологичен контрол, проверяващ точността на измерване на анализаторите им.

Преброяване на МПС

Броенето на МПС – както на преминаващите през кръстовището, така и на изчакващите на червен светофар пред кръстовището, беше извършено в интервала от 11:00 ч. до 11:30 ч. В броенето участваха студенти еколози.

За броенето беше разработен софтуер, който разпределя преминаващите през кръстовището МПС в 15 категории. Броят и видът на категориите са избрани да съответстват на входните данни, необходими за получаване на замърсяването от трафика на следващ етап от изследването. На фиг.3 е показана екранната форма, чрез която преминаващите МПС бяха броени и разпределяни в 15-те показани на фигурата категории и три посоки на движение през кръстовището – вляво, напред и вдясно. Преминаващото през кръстовището МПС се регистрира в паметта на компютъра по категория, посока на движение и момент на преминаване (с точност до секундата), когато преброителят кликне с левия бутон на мишката върху съответния екранен бутон с категорията и посоката на движение.

Двама преброители с преносими компютри бяха разположени на два срещуположни ъгъла на кръстовището и брояха преминаващите МПС по прилежащите им страни на улицата. Поотделно за всяка от четирите входни точки в кръстовището други преброители отчитаха броя на изчакващите на червен светофар МПС (от момента на светване на червен светофар до светването на зелен). Впоследствие поотделно за всеки от 4-те светофара на кръстовището беше определен средният брой на МПС, изчакващи за минута пред червен сигнал на светофара.

По данни от МВР²⁾ с дизелови двигатели са 20% от общия брой леки коли и 80% от лекотоварните. Тези данни бяха използвани, за да се попълнят категории 4 и 8 (фиг. 3) по общия брой преброени леки и лекотоварни коли.



Фигура 3. Общ изглед на формата, появяваща се на екрана на компютъра при работа със софтуера за броене на преминаващи през кръстовището МПС

Броят на МПС във всяка от 15-те категории беше разпределен на 4 групи по отношение на възрастта на двигателите, доколкото през годините се променят изискванията за екологичност на новопроизведените двигатели, а с годините на експлоатация се влошават екологичните параметри на емисиите от двигателите. Разпределението на МПС по година на производство и по категории беше получено също от МВР.²⁾ Т.е. МПС, преминали през кръстовището по време на броенето, бяха разпределени в общо 60 категории по вид и възраст на двигателя (отново с цел подготовка на данните за следващия етап на обработка).

Изчисление на емисиите

За изчисление на количеството азотни оксиди, отделени във въздуха от преминаващите през кръстовището МПС, беше използван модул „Емисии“ на софтуерния пакет „Трафик оракул“, разработка на колектив от Геофизичния институт на БАН за целите на ИАОС. Модулът изчислява параметъра „емисия“ в (g/s)/m за някои замърсители във въздуха, в частност за азотни оксиди. Под „емисия“ в „Трафик оракул“ се разбира

общият емисионен фактор за всички МПС в 60-те категории (т.е. масата в грамове на азотните оксиди, отделени от двигателите за една секунда), разделен на изминатото от МПС разстояние за една секунда (т.е. приблизително 14 метра при типичната за градски условия скорост от 50 km/h). Входни данни за модула са данните за броя на МПС, разпределен в 60-те описани по-горе категории, типът на пътя, в случая „населено място“, наклонът на пътя в %, получен чрез софтуера Google Earth, и температурата на въздуха.

Разпространение на азотните оксиди от трафика в района на кръстовището

Изчислената на предходния етап емисия на азотни оксиди е входен параметър в модул „Дифузия“ на „Трафик оракул“. Модулът изчислява концентрацията на азотните оксиди от движещите се през кръстовището МПС във възлите на правоъгълна мрежа, равномерно разпределени по площта на мрежата. Размерите ѝ бяха избрани така, че да покрива района на кръстовището и да са пропорционални на броя на МПС, преминали по всяка от двете улици в кръстовището по време на броенето. Центърът на мрежата съвпада с центъра на кръстовището, а ориентацията ѝ е по географските посоки. Координатите на възлите и на мобилната станция бяха определени относно левия долен ъгъл на мрежата.

Други входни параметри за модул „Дифузия“ са размерите и гъстотата на мрежата, координатите на началото и края на транспортните потоци през мрежата, данни за вятъра, географските координати.

Разпространение на азотните оксиди, отделени от изчакващите на червен сигнал пред кръстовището МПС

Изчакващите на 4-те светофара пред кръстовището МПС с двигатели, работещи на празен ход, са 4 статични източника на замърсяване. Емисионните им фактори бяха взети от справочник.³⁾ Тези емисионни фактори са част от входните параметри в специализирания софтуер „Плуме“ (от същия разработчик, създаде и „Трафик оракул“) за изчисление на концентрацията на азотните оксиди от 4-те статични източника във възлите на описаната по-горе мрежа, използвана и за модул „Дифузия“. Други входни параметри – диаметърът на изпускащата отработените газове тръба, дебитът ѝ, височината на отвора ѝ над земната повърхност и температурата на излитациите във въздуха газове, бяха взети от справочници като средни стойности за някои разпространени марки автомобили. Входни параметри в модула са също размерите и гъстотата на мрежата, данни за вятъра, координатите на статичните източници.

Общата концентрация на замърсяването с азотни оксиди в даден възел на мрежата беше изчислена като сума от концентрациите на замърсяването от движещите се и от изчакващите на червен светофар МПС.

Резултатите от изчислението на концентрациите във всички възли на мрежата бяха използвани като входни данни за софтуера Surfer 10, чрез който разпространението на замърсяването в района на кръстовището беше представено графично.

Изчислената за точката на мобилната станция концентрация на емитираните от трафика азотни оксиди беше сравнена с измерената от мобилната станция концентрация на азотни оксиди (от всички околни източници) и бяха направени изводи относно дела на отделеното от трафика замърсяване с азотни оксиди в общото замърсяване на въздуха с азотни оксиди в района на кръстовището.

Резултати и обсъждане

На фиг. 1 е показано разпределението по категории на МПС, преминали през кръстовището по време на двете преброявания.

Общият брой преминали МПС за половинчасовия интервал от 11:00 ч. до 11:30 ч. беше съответно 1220 за 29 декември 2010 г. и 940 за 14 февруари 2017 г., т.е. беше констатирано намаление на трафика през кръстовището с 23% вероятно поради изградения междувременно нов облекчен маршрут, успореден на посока изток – запад.

За сравнение броят на преминалите покрай стационарната станция МПС на 12.11.2010 г. (петък, ден на трафик с повишена интензивност) в същия половинчасов интервал е 369, т.е. над 3 пъти по-малък от този на МПС, преминали през кръстовището за същото време на 29.12.2010 г.

От фиг. 1 се вижда, че съотношението по категории на преминалите МПС е останало почти непроменено за седемте години с едно изключение – 49 пъти е намалял броят на леките пътнически автомобили с малолитражни двигатели. За седемте години намалението за останалите категории МПС е приблизително еднакво, което е потвърждение за акуратността и на двете преброявания, както и за настъпилото изменение в автомобилния парк на града по отношение на малолитражните пътнически автомобили. И при двете проучвания най-голям е броят на леките коли среден клас, следвани по брой от лимузините. И при двете проучвания потоците МПС, навлизащи в кръстовището от посоки юг и запад, са по-интензивни от тези от посоки изток и север.

Анализ на задачата за оценка на разпространението на въздушното замърсяване в района на кръстовището

„Трафик оракул“ е създаден за оценка на въздушното замърсяване от поток МПС, движещи се по прав линеен участък от пътя. В района на кръстовището пътищата на отделните МПС се преплитат по сложен начин. За да е приложим споменатият софтуер, преминаващите в района на кръстовището, МПС бяха групирани в осем линейни потока. Четири от потоци-

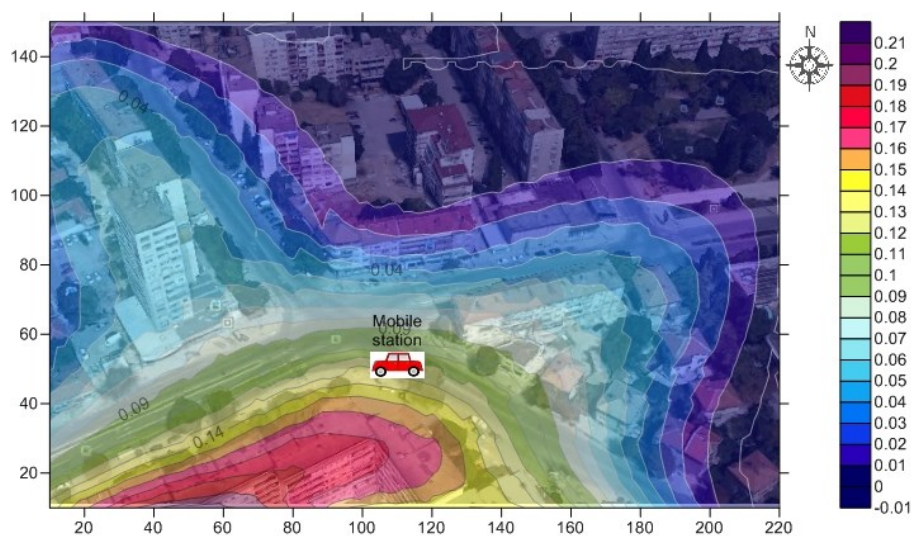
те влизат в кръстовището и четири го напускат. Номерацията на потоците с посоките им на движение през кръстовището е показана на фиг. 1. Всеки от навлизащите в кръстовището потоци – 1, 2, 3 и 4, през кръстовището се разпада на три – МПС, движещи се направо, надясно и наляво. След кръстовището МПС се прегрупира в четири изходящи потока с номера 5, 6, 7 и 8.

Допълнително замърсяване на въздуха отделят МПС, изчакващи пред кръстовището на червен светофар с работещи двигатели на празен ход. Средният брой изчакващи МПС от всяка от четирите посоки бяха разглеждани като четири неподвижни (статични) източника.

Така задачата за оценка на замърсяването в района на кръстовището се сведе до определяне на замърсяването от 8 линейни източника – 8-те потока МПС, движещи се през кръстовището, и от 4 статични източника.

Изчакващите на червен светофар са значителна част от преминалите през кръстовището МПС. Броенето на 29 декември 2010 г. установи, че на червен светофар са изчаквали 1054 от всички 1220 МПС, преминали през кръстовището по време на изследването (86%). Доколкото МПС, съставлящи статичния източник, т.е. изчакващите пред червен светофар, са значителна извадка от всички МПС, формиращи входящите в кръстовището потоци, разпределението по категории за даден поток и за съответния му статичен източник са близки или съвпадат. Средностатистическият емисионен фактор за един двигател на празен ход от входящия поток беше изчислен като претеглена средна стойност от емисионните фактори на празен ход за различните категории МПС в потока (от справочник³⁾ в g/min) с тегловни коефициенти броя МПС от съответната категория. Емисионният фактор на статичния източник е произведението на средностатистическия емисионен фактор на двигателя на празен ход и съответния на потока среден брой изчакващи МПС за единица време (минута).

Азотни оксиди (NO_x , смес на азотен оксид (монооксид) с азотен диоксид) се получават предимно вследствие на високотемпературна реакция на азота и кислорода от въздуха в процеса на горене в двигателите на МПС. В емитираните от двигателя газове е по-голям дялът на азотния оксид. Допълнително азотният оксид преминава в диоксид в контакт с кислорода от въздуха (в присъствието на летливи органични съединения). При стандартни атмосферни условия (температура 0°C и налягане 1 atm) и концентрация на азотен оксид $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ половината от него се трансформира в азотен диоксид за около половин час.⁴⁾



Фигура 4. Графично представяне на разпространението на NO_x в района на кръстовището

На фиг. 4 е представено разпространението на NO_x, емитирани в резултат на трафика в района на кръстовището на 29 декември 2010 г., и оценено в резултат на броенето и дифузионното моделиране с „Трафик оракул“ и Plume. За 14 февруари 2017 г. картината е сходна, с по-малки концентрации.

Изчислената в рамките на мрежата максимална концентрация на замърсяването с NO_x при изследването от 29 декември 2010 г. е 231 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а в точката на позициониране на мобилната станция изчислената концентрация от трафика е 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Измерената от мобилната станция концентрация от всички източници в района е 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Приносът на трафика в замърсяването с NO_x в местоположението на мобилната станция, т.е. в близост до центъра на кръстовището, е около 65% за изследването от 29 декември 2010 г. Тази стойност е в съгласие със споменатия по-горе дял (63%) на трафика в годишното замърсяване на въздуха над Стара Загора с азотни оксиди, оценен по данни за годишните емисии на азотни оксиди в града. Измерване с мобилната станция в същата точка беше извършено и 20 дни по-късно, на 21 януари 2011 г. Измерената концентрация на NO_x беше 211 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Малко по-високата концентрация при второто измерване вероятно се дължи на по-благоприятните за замърсяване на приземния въздух метеорологични условия от тези на 29 декември 2010 г., а именно два пъти по-малка скорост на вятъра и измерване половин час по-рано от предходното измерване (между 10:30 и 11:00 ч.), когато е по-висока вероятността приземната инверсия да е по-интензивна и

задържаното от нея близо до повърхността замърсяване от трафика да е с висока концентрация. Въпреки разликите в условията на измерване концентрациите при двете измервания с мобилната станция са близки по големина, което налага извода за устойчивост или слаба изменчивост във времето на замърсяването с NO_x в района на кръстовището, в частност на това от трафика, дори при известна промяна на метеорологичните условия. Този извод се потвърждава и от сходните картини на разпространение на замърсяването, получени в резултат на броенето на 29 декември 2010 г. и на 14 февруари 2017 г. (фиг.4). Максималната изчислена концентрация в площта на мрежата при изследването на 14 февруари 2017 г. беше $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$, т.е. замърсяването от трафика е намаляло с 25% спрямо това преди 7 години (както беше споменато по-горе, трафикът през кръстовището е намалял с 23%). В точката, където в предходните изследвания е мерела мобилната станция, изчислената концентрация на NO_x от трафика беше $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, т.е. намаление с около 20% в сравнение с предходното изследване.

Както изчислените концентрации на замърсяването с NO_x от трафика, така и измерените с мобилната станция концентрации на общото замърсяване с NO_x от всички източници в района, са около 4 пъти по-малки от споменатите по-горе пикови концентрации, регистрирани от стационарната автоматична станция в града. При това трафикът през кръстовището е тройно по-интензивен в сравнение с този покрай стационарната станция, а мобилната станция беше разположена на 2 пъти по-малко разстояние до центъра на кръстовището от разстоянието на стационарната станция до улицата с трафика. По време на измерването приземната атмосфера беше в състояние на умерена температурна инверсия – състояние, което потиска вертикалните движения на въздуха и благоприятства концентрирането на въздушните замърсители при земната повърхност. Т.е. получената оценка за концентрацията на NO_x е около максималната, достигана през годината в района на това кръстовище.

Сходните резултати от трикратното изследване на кръстовището налагат извода, че поведението на замърсяването с азотни оксиди от интензивен трафик е сравнително устойчиво във времето и не предполага резки пикове на замърсяване. Концентрацията на замърсяването с азотни оксиди от трафика е в пъти по-малка от тази на регистрираните от стационарната станция пикове. Резултатите от изследването налагат извода, че приносът на трафика е съществен по отношение на постоянна или малко променлива компонента на замърсяването на градския въздух на Стара Загора с азотни оксиди, но трябва да се отхвърли хипотезата за съпричастността на трафика към пиковите над-прагови замърсявания с азотни оксиди в града и усилията да се насочат към търсене на друг източник на пиковите обгазявания с азотни оксиди.

От фиг.4 се вижда, че замърсяването с азотни оксиди от трафика в района на кръстовището се съгъстява около жилищния блок, разположен юго-

западно от кръстовището. Стойностите на изчислената концентрация на замърсяването от трафика в района на жилищния блок се оказва близка до $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Както беше оценено по-горе, общото замърсяване от всички източници на азотни оксиди в района на кръстовището и в града е с около 35% по-голямо от това от трафика, т.е. в пространството около споменатия жилищен блок през зимата общото замърсяване с азотни оксиди от всички източници е около $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. По-горе беше спомената склонността на азотния оксид да се преобразува в диоксид, т.е. голяма е вероятността концентрацията на вредния за здравето азотен диоксид в пространството около жилищния блок през зимата да превишава праговата стойност ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) на едночасовата му норма, особено в тъмната част на денонощието с интензивен трафик – сутрин и вечер, когато няма фотохимични реакции, водещи до разлагането му. Без да се впускаме в полемика доколко приетите прагови стойности на нормите за азотен диоксид отразяват защитеността на населението от здравни рискове, безпокойствие буди и изводът, че картината на замърсяването е устойчива във времето, т.е. жителите на споменатия блок и квартала около него са потопени в замърсяване с азотни оксиди в голяма част от времето през зимата както поради сравнително постоянното замърсяване от всички източници в района, така и поради честото отвяване на шлейф от замърсяването от трафика през кръстовището на югозапад поради обстоятелството, че най-честата посока на вятъра над града е от североизток.

Изводи

Комбинираното изследване на въздушните замърсявания с мобилна станция и дисперсионно моделиране е ефективен метод за оценка на приноса на отделните източници в общото замърсяване. Методът беше приложен във връзка с търсенето на отговор на въпросите какъв е приносът на трафика в общото градско замърсяване с азотни оксиди и какъв е характерът на замърсяването от трафика – с плавно изменение или с резки пикове. Беше направен изводът, че трафикът е източник на плавно изменящо се замърсяване с азотни оксиди с ограничен потенциал за надхвърляне на праговите концентрации и няма потенциал за генериране на резки надпрагови пикове, т.е. трафикът в града не е източникът на пиковите обгазявания с азотни оксиди.

Поради преобладаващата север-североизточна посока на вятъра през града по-голямо замърсяване с генерирани от трафика азотни оксиди изпитват югозападните ъгли на натоварените кръстовища в града, градските обитатели в близост до които са подложени на по-висок здравен риск във връзка с повишени концентрации от азотни оксиди.

БЕЛЕЖКИ

1. <http://eea.government.bg/airq/alarm.jsp>
2. Служебна информация за разпределението по възраст на МПС от Старозагорска област към 31.12.2010 г. (писмо № 25962/12.4.2011 г.).
3. <https://nepis.epa.gov/Exec/ZipPDF.cgi/P100EVXV.PDF?Dockey=P100EVXV.PDF>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/NOx>

REFERENCES/ЛИТЕРАТУРА

- Georgieva, N.V. (2011). Ekologichen monitoring i otsenka kachestvoto na povarkhnostni vodi po pokazatel sulfati v region Stara Zagora. *Ecology & Future*, 10(4), 43 – 48 [Георгиева, Н. (2011). Екологичен мониторинг и оценка качеството на повърхностни води по показател сулфати в регион Стара Загора. *Екология & бъдеще*, 10(4), 43 – 48].
- Georgieva, N.V., Yaneva, Z. & Kostadinova, G. (2011). Spatio-temporal distribution of nitrates, nitrites and ammonium in groundwaters. *Ecologica*, 18, 623 – 630.
- Georgieva, N.V., Yaneva, Z. & Kostadinova, G. (2013). Analyses and assessment of the spatial and temporal distribution of nitrogen compounds in surface waters. *Water & Environ. J.*, 27, 187 – 196.
- Kostadinova, G., Petkov, G., Georgieva, N. Dospatliev, L. & Dermendjieva D. (2011). Assessment of air pollution in Stara Zagora region, Bulgaria. *J. Balkan Ecology*, 14, 341 – 355.
- Platikanova - Ivanova, M.S. (2014). *Atmosferno zamarsiavane I zabolavayemost na naselenieto v obshtina Stara Zagora: PhD thesis*. Stara Zagora: Trakia University [Платиканова-Иванова, М.С. (2014). *Атмосферно замърсяване и заболяемост на населението в община Стара Загора: дисертация за образователната и научна степен „доктор“*. Стара Загора: Тракийски университет].
- Takuchev, N.P. (2014a). *Stara Zagora – fakti i hipotezi*. Stara Zagora: Trakia University [Такучев, Н.П. (2014). *Стара Загора – факти и хипотези*. Стара Загора: Тракийски университет].
- Takuchev, N.P. (2014b). Contribution of traffic to annual air pollution with nitrogen dioxide over Stara Zagora, Bulgaria. *Ecology & Safety*, 8, 606 – 613.
- Zhelyazkova, I. (2012). Honeybees – bioindicators for environmental quality. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 18, 435 – 442.

AN EXPERIMENT WITH A MOBILE STATION AND DISPERSION MODELING IN SEARCH OF AN ANSWER TO THE QUESTION WHETHER TRAFFIC IS THE SOURCE OF PEAK GASSING WITH NITROGEN OXIDES OVER STARA ZAGORA, BULGARIA

Abstract. Between 2006 and 2012, the stationary automatic air quality monitoring station in Stara Zagora, Bulgaria repeatedly registered peaks of the nitrogen dioxide concentration over-threshold levels (the highest so far in Bulgaria), with unknown origin. The main suspect was traffic on the street near the measuring station. The behavior and intensity of air pollution with nitrogen oxides emitted by the motor vehicles crossing a city junction, with three times more intense traffic than that near the stationary station, was investigated. The study included vehicle counting and subsequent dispersion modeling. At the time of counting, total urban nitrogen pollution in the junction area was measured by a mobile station. Within seven years - 2010, 2011 and 2017 were conducted three studies of the junction. It was found that for 7 years in the city's car fleet only the number of small passenger cars is decreased (49 times). The maximum concentrations of nitrogen oxides, both measured and calculated, are close in magnitude and are several times smaller than the peak values measured by the stationary station. That is, the analysis of the experiment data showed that the traffic is not the source of the peak pollution with nitrogen dioxide over Stara Zagora. Nitrogen oxides pollution often concentrates around the southwestern corner of city junctions due to the prevailing wind direction from the north-northeast.

✉ **Dr. N. Takuchev (corresponding author)**

Department of Biochemistry, Microbiology and Physics
Trakia University
5000 Stara Zagora, Bulgaria
E-mail: npt@uni-sz.bg