

УДК 629.33.03: 621.43

**С. В. ШАПКО**, канд. техн. наук., доц., КрНУ імені Михайла Остроградського, Кременчук

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБІЛЯ, ОБЛАДНАНОГО КАТАЛІТИЧНИМ НЕЙТРАЛІЗАТОРОМ, В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Розроблений метод розрахунку екологічних показників автомобіля враховує потрібні очисні властивості каталітичного нейтралізатора у разі потреби його встановлення з урахуванням вимог стандартів, на виконання яких орієнтований автомобіль. Запропонований перелік показників, за якими оцінюються зміни очисних властивостей нейтралізатора під час експлуатації автомобіля. Проведені експериментальні дослідження підтверджують запропоновані та запатентовані конструктивні рішення щодо забезпечення стабільності екологічних характеристик автомобіля з каталітичним нейтралізатором.

**Ключові слова:** автомобіль, каталітичний нейтралізатор, відпрацьовані гази, стабільність екологічних характеристик.

**Вступ.** Постійне зростання виробництва автомобілів, обладнаних двигунами внутрішнього згорання, приводить до збільшення забруднення довкілля. Автомобільний транспорт є одним із чинників техногенного впливу на зовнішнє середовище [1,2]. Рівень екологічної безпеки транспортного засобу [3,4] визначається витратою палива, викидами шкідливих речовин, рівнем шуму, випаровуванням та підтіканням палива, мастил, технічних рідин, тепловим випромінюванням.

Ступінь впливу автомобіля на природне довкілля, зокрема шкідливих речовин, які викидаються з відпрацьованими газами (ВГ) двигунів в атмосферу є однією з характеристик автомобіля, яка визначає його технічний рівень [5].

Для вирішення проблеми охорони довкілля від викидів автомобільного транспорту в більшості країн світу впроваджені нормативно-технічні документи, що обмежують вміст шкідливих речовин у ВГ. Постійне посилення вимог стандартів з екологічної безпеки вимагає від виробників автомобілів зосереджувати значні зусилля для пошуку шляхів комплексного вирішення цієї проблеми.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Значні результати покращення екологічних показників автомобіля в експлуатаційних умовах дає застосування альтернативних видів палива, зокрема, використання біопалив [6], їх сумішей із дизельним паливом [7,8].

Одним з найбільш ефективним методом зменшення викидів шкідливих речовин є встановлення у випускні систему каталітичного нейтралізатора (КН).

Досвід експлуатації автомобілів з дизелями, обладнаними КН показує, що автомобілі, маючи спочатку високі екологічні показники, швидко втрачають ці якості внаслідок забруднення каталізатора твердими частками, в основному сажею. Для підвищення екологічних характеристик необхідно часте проведення технічного обслуговування автомобіля, обладнаного КН для регенерації каталізатора.

Під час експлуатації автомобіля відбуваються певні процеси змін екологічних характеристик. Спочатку встановлення КН забезпечує потрібне зменшення шкідливих викидів. Далі відбувається погіршення екологічних показників внаслідок, по-перше, «природних» причин (знос двигуна, його агрегатів, систем тощо), по-друге, зміна робочих параметрів системи нейтралізації (старіння каталізатора, забруднення сажею, руйнування носія каталізатора тощо). Періодичні проведення регенерації дозволяють підвищити очисні властивості КН, однак, поновити їх до початкового рівня вдається не

© С. В. Шапко, 2015

завжди.

Обладнанням автомобіля КН потрібно забезпечити виконання вимог стандартів не тільки на початку, але й забезпечити потрібну стабільність екологічних показників у процесі експлуатації, оцінні показники якої наведені у роботі [9].

Основним показником очисних властивостей КН слід вважати коефіцієнт очищення  $K_i$ , який показує у скільки разів відбувається зменшення концентрацій розглянутого  $i$ -го компонента у ВГ на виході з нейтралізатора у порівнянні з його концентраціями на вході:

$$K_i = \frac{C_{i_{\text{вх}}}}{C_{i_{\text{вих}}}}, \quad (1)$$

де  $C_{i_{\text{вх}}}$ ,  $C_{i_{\text{вих}}}$  – концентрації шкідливого компонента відповідно на вході і на виході нейтралізатора.

Враховуючи вищенаведене, необхідно знати кількісну та якісну характеристику процесів зміни екологічних характеристик автомобіля під час експлуатації з метою визначення необхідних робочих параметрів КН для забезпечення певної їх стабільності.

**Мета дослідження.** Розробити метод розрахунку екологічних показників автомобіля, обладнаного КН, який дозволить обрати необхідні параметри нейтралізатора для забезпечення вимог стандартів, на виконання яких орієнтований автомобіль на певний період його експлуатації.

**Матеріали досліджень.** Розроблений метод розрахунку екологічних показників автомобіля, обладнаного КН, виходячи з результатів теоретичних та експлуатаційних досліджень, ґрунтується на наступних положеннях:

- забезпечення виконання відповідних вимог міжнародних та національних стандартів;
- урахування характеристик автомобільного двигуна за викидами шкідливих речовин на режимах, обумовлених відповідними стандартами;
- забезпечення необхідного пробігу автомобіля до його чергового ТО і виконання при цьому відповідних операцій обслуговування КН.

Викиди шкідливих речовин автомобілем повинні визначатися за методиками, передбаченими відповідними стандартами, на виконання вимог яких орієнтовано автомобіль.

Зокрема, якщо автомобіль орієнтовано на виконання вимог Правил ЄЕК ООН №49 [10], зміст шкідливих речовин по кожній  $i$ -ї шкідливої компоненти, що оцінюються їх питомими викидами  $g_{i_{\text{вх}}}$  в  $\frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot \frac{\text{л}}{\text{ч}}$ , визначаються за результатами випробовувань двигуна на моторному стенді на режимах 13-ступінчастого їздового циклу і обчислюються за формулою

$$g_{i_{\text{вх}}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_i K_{i\text{вх}}}{\sum_{i=1}^{13} N_e K_{i\text{вх}}}, \quad (2)$$

де  $G_i$  – масова витрата  $i$ -го компонента на режимі випробовувань;

$K_{i\text{вх}}$  – ваговий коефіцієнт режиму;

$N_e$  – ефективна потужність на режимі випробувань;

$i$  – компоненти шкідливих речовин ( $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_x$  та ін.) у ВГ.

Аналогічно визначаються викиди шкідливих речовин із системи випуску ВГ з встановленим КН.

При встановленні нейтралізатора питомі викиди  $i$ -ї компоненти визначають на кожному режимі випробувань за методикою, передбаченою стандартом, з урахуванням очисних характеристик нейтралізатора на тих самих режимах

$$g_{i_i} = g_{i_{aa}} \cdot k_i, \quad (3)$$

де  $g_{i_{aa}}$  – питома витрата  $i$ -ї компоненти на режимі випробувань двигуна;

$k_i$  – коефіцієнт очищення нейтралізатора на режимі випробувань. Він є зворотною величиною коефіцієнта  $K_i$ .

Встановленням у систему випуску ВГ каталітичного нейтралізатора можливо значно покращити екологічні характеристики автомобіля. Зразки КН, які досліджувалися, мали спочатку коефіцієнт очищення по  $CO$  в межах 10 (рис. 1). Однак, через 10...12 тис. км пробігу автомобіля очисні властивості КН погіршилися майже у 5 разів.

На автомобіль можна встановити КН, що має майже стовідсоткову ступінь очищення, тобто, на виході із системи випуску ВГ взагалі не буде  $i$ -ї шкідливої компоненти. Це так званий «умовно ідеальний нейтралізатор». Однак, ефективність нейтралізатора залежить від кількості дорогого каталізатора, і вартість такого КН виявиться настільки високою, що економічного ефекту від впровадження подібних технічних рішень не буде.

Тому, при обладнанні автомобіля КН потрібно спочатку визначити необхідність його установки, а потім - його необхідні характеристики.

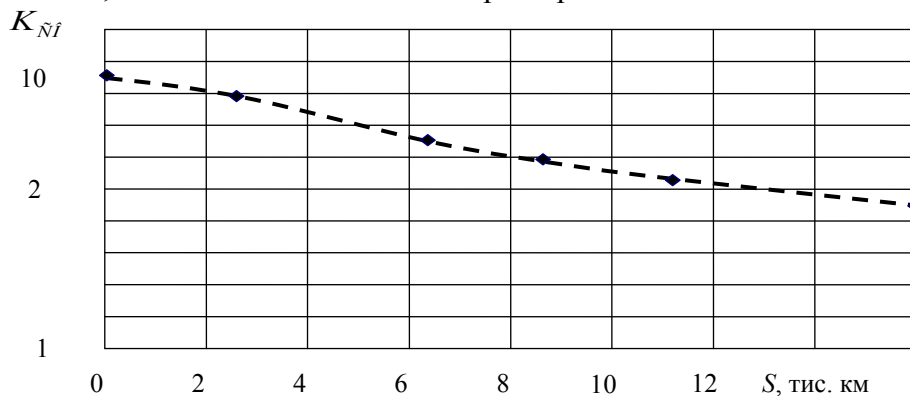


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта очищення  $K_{Ni}$  КН від пробігу автомобіля  $S$

Автомобіль з новим КН має початкові питомі викиди шкідливих речовин за  $i$ -ю компонентою  $g_{i_{ii}}$  менші, ніж вихідні викиди двигуна без КН  $g_{i_{aa}}$  у певну кількість разів, яка оцінюється коефіцієнтом очищення КН

$$K_i = \frac{g_{i_{aa}}}{g_{i_{ii}}}. \quad (4)$$

У тому випадку, якщо встановлення КН обумовлено виконанням вимог НТД по викидах  $g_i$   $i$ -ї компоненти, необхідний коефіцієнт очищення КН визначається виразом:

$$K_i = \frac{g_{i\bar{a}\bar{a}}}{g_{i\bar{o}\bar{a}}} . \quad (5)$$

Якщо дотримується співвідношення  $g_{i\bar{a}\bar{a}} < g_{i\bar{o}\bar{a}}$  по всім нормованим компонентам ВГ, і в процесі експлуатації автомобіля між його технічними обслуговуваннями ця умова не порушується, то необхідності встановлення нейтралізатора немає. В залежності від того, за якими компонентам не виконуються вимоги стандартів, вибирається тип каталізатора: окиснювальний або відновлюючий.

У процесі експлуатації автомобіля відбувається погіршення очисних властивостей КН, що частково відновлюються при ТО проведенням регенерації каталітичного блока. Рівень зменшення очисних властивостей КН між послідовними регенераціями можливо врахувати коефіцієнтом  $K_{i_s}$  :

$$K_{i_s} = \frac{K_{i_r}}{K_{i_e}} , \quad (6)$$

де  $K_{i_r}$  – коефіцієнт очищення нейтралізатора на початку між регенераційного періоду  $\Delta S_p$ ;

$K_{i_e}$  – коефіцієнт очищення нейтралізатора наприкінці між регенераційного періоду  $\Delta S_p$ .

Рівень зменшення очисних властивостей КН можливо визначити через параметр стабільності  $\lambda_{i\bar{o}}$  [9] та пробіг автомобілі до ТО  $\Delta S_{\bar{o}i}$

$$K_{i_s} = 1 + \frac{\lambda_{i\bar{o}} \cdot \Delta S_{\bar{o}i}}{g_i} . \quad (7)$$

Стабільність екологічних показників автомобіля в експлуатації по  $i$ -му компоненту можна оцінити за величиною збільшення питомих викидів стосовно одиниці пробігу автомобіля:

$$\lambda_{i\bar{o}} = \frac{\Delta g_i}{\Delta S} , \quad (8)$$

де  $\Delta g_i$  – зміна питомих викидів  $i$ -го компоненту ВГ за пробіг  $\Delta S$  .

Показник  $\lambda_{i\bar{o}}$  запропоновано назвати параметром стабільності екологічних характеристик автомобіля [9].

Регенерація каталізатора при проведенні ТО не дозволяє цілком відновити початкові очисні властивості каталізатора. Тому значення коефіцієнта очищення каталізатора після першої регенерації виявляється меншим, ніж у нового КН, а після кожної наступної регенерації - меншим, ніж після попередньої.

У розрахунках можна прийняти припущення, що коефіцієнт очищення  $K_{i_j}$  КН після  $j$ -ї регенерації в порівнянні з коефіцієнтом очищення  $K_{i_{j-1}}$  після попередньої ( $j-1$ ) регенерації зменшується в одну і таку ж кількість разів, яке враховується коефіцієнтом  $K_{ip}$  (рис. 2), тобто

$$K_{ip} = \frac{K_{i_{j-1}}}{K_{i_j}} = Const. \quad (9)$$

Кількість регенерацій визначається допустимою межею зменшення коефіцієнта очищення, коли експлуатація КН стає неприпустимою в результаті можливого зруйнування каталітичного блока, або економічно і технічно недоцільною, оскільки збільшення числа регенерацій неминуче приведе до збільшення необхідного коефіцієнта очищення, тобто збільшенню габаритів, маси і вартості нового КН.

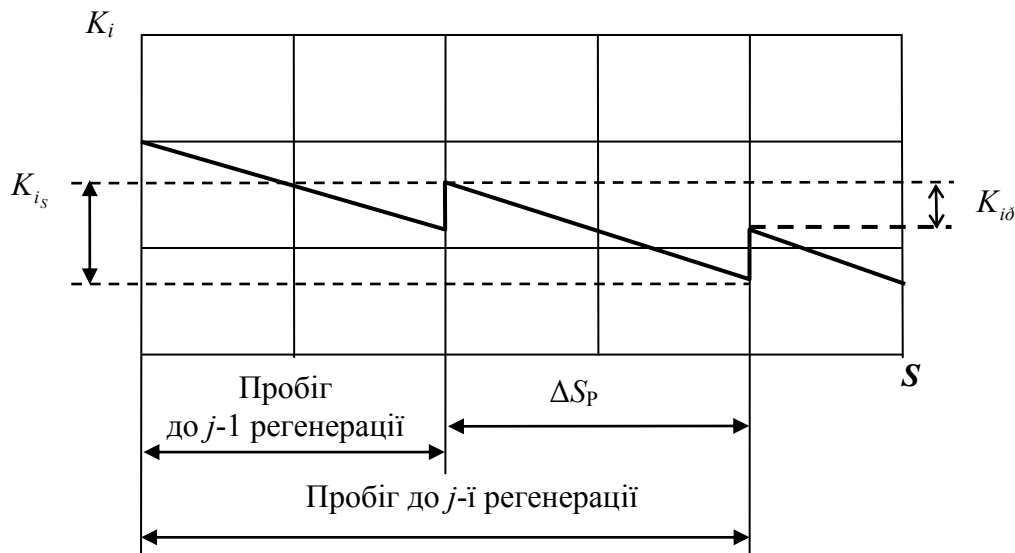


Рисунок 2 – Зміна коефіцієнта очищення КН при експлуатації

Таким чином, потрібний коефіцієнт очищення  $K_{i_{\text{н\ddot{o}д}}}$  повинний враховувати допустимі стандартом норми викидів по  $i$ -му компонент  $g_{i_{\ddot{o}а}}$ , погіршення екологічних показників за період експлуатації автомобіля між ТО коефіцієнтом  $k_{i_{\ddot{c}i}}$ , а також погіршення очисних властивостей КН після кожного наступного його ТО (регенерації) у порівнянні з попереднім коефіцієнтом  $K_{i_{\ddot{o}}}$ . Ця залежність розраховується за формулою

$$K_{i_{\text{н\ddot{o}д}}} = \frac{g_{i_{\ddot{a}а}}}{g_{i_{\ddot{o}а}}} \left( 1 + \frac{\lambda_{\ddot{n}\ddot{o}} \cdot \Delta S_{\ddot{o}i}}{g_{i_r}} \right) K_{i_{\ddot{o}}}^m, \quad (10)$$

де  $m$  – допустиме число регенерацій.

**Результати досліджень.** Розв'язуючи задачу таким методом, можна підібрати конструкцію нейтралізатора з мінімальним, але достатнім об'ємом каталізатора для

очищення ВГ до рівня чинних вимог. Це дозволить зменшити витрати на обладнання таким КН автомобіля.

Може вирішуватися й інша задача. При обладнанні автомобіля КН визначається запас за екологічними показниками ВГ на допустимість їх погіршення в експлуатації. Значення цього запасу порівнюється з параметром стабільності  $i$ , знаючи залежність зміни екологічних показників, визначається допустимий пробіг автомобіля. Виходячи з отриманих даних, визначається періодичність ТО (регенерації КН), яку необхідно погодити із чинною періодичністю проведення ТО автомобіля.

**Висновки.** Розроблено метод розрахунку екологічних показників автомобіля з КН, алгоритми якого враховують вимоги національних та міжнародних стандартів, періодичність планових ТО автомобіля, мінімізацію витрат на обладнання автомобіля КН і його обслуговування. Вони можуть бути використані на стадії проектування автомобіля або обладнання КН серійного автомобіля.

**Список літератури:** 1. *Каніло П.М.* Канцерогенність відпрацьованих газів автомобілів / *П.М. Каніло, К.В. Костенко, Н.В. Внукова, С.О. Коверсун* // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ ; [редкол.: *Туренко А. Н.* (гл. ред.) и др.] – Харьков, 2013. – Вып. 29. – С. 160-167. 2. *Лежнева О. І.* Результати дослідження забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом на вулицях м. Харкова / *О. І. Лежнева* // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ ; [редкол.: *Туренко А. Н.* (гл. ред.) и др.] – Харьков, 2013. – Вып. 33. – С. 110-114. 3. *Матейчик В.П.* Моделювання екологічних показників транспортних засобів в інформаційно-аналітичній системі моніторингу транспортних потоків / *В.П. Матейчик, К.Лейда, С.Ю Гутаревич, М.П. Цюман* // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ. – 2014. – Вып. 30. – С.246-254. 4. *Гришук О.К.* Оцінка екологічного навантаження в процесі експлуатації ділянки автомобільної дороги / *О.К. Гришук, О.П. Кобзиста, І.С. Федій* // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ. – 2014. – Вып. 30. – С.69-77. 5. *Гутаревич Ю.Ф.* Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник / *Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун.* – К.: Арістей, 2006. – 292 с. 6. *Левтеров А. М.* Вивчення впливу моторних властивостей біопалива на енергоекологічні характеристики дизельного двигуна / *А. М. Левтеров, В. П. Мараховський, В. Д. Савицький* // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. / М-во образования и науки Украины, ХНАДУ ; [редкол.: *Туренко А. Н.* (гл. ред.) и др.] – Харьков, 2012. – Вып. 31. – С. 57-61. 7. *Шапко В.Ф.* Підвищення екологічних показників дизельного автомобіля під час використання біодизельного палива / *А. І. Атамась, С. В. Шапко* // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КрНУ ім. М. Остроградського, 2012. – Вып. 3/2012(74).– С. 128–132. 8. *Шапко В.Ф.* Экологические показатели дизельных двигателей с разными условиями смесеобразования при работе на биодизельном топливе / *В.Ф. Шапко, С.М.Черненко, А.І. Атамась, А.Ю. Горпинченко* // Сборник трудов по итогам международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении». Вып. № 13. – Брянск: БГИТА, 2011. – С. 72–77. 9. *Шапко С.В.* Показники оцінки стабільності екологічних характеристик автомобіля з каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів / *С.В. Шапко, В.Ф. Шапко* // Науковий журнал «Екологічна безпека». Наукові праці КНУ ім. М. Остроградського. – Кременчук: КНУ ім. М. Остроградського, 2011. – Вып. 1/2011(11). – С. 78–80. 10. *Правила № 49 ЕЭК ООН.* Единообразные предписания, касающиеся

официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ. – Заключено в Женеве 20.03.58.- 62 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kanilo P.M., K.V. Kostenko, N.V. Vnukova, S.O. Koversun. "Kancerogennist` vidprac`ovanyh gaziv avtomobiliv." Avtomobil`nyj transport: sb. nauch. tr. M-vo obrazovaniya i nauki Ukrai'ny, KhNADU. Ed. A. N. Turenko. No. 29. Xarkiv, 2013. 160-167. Print. 2. Lezhneva, O. I. "Rezul'taty` doslidzhennja zabrudnennja atmosferного povitrya avtomobil`nym transportom na vulicjah m. Kharkova." Avtomobil`nyj transport: sb. nauch. tr. M-vo obrazovaniya i nauki Ukrai'ny, KhNADU. Ed. A. N. Turenko. No. 33. Xarkiv, 2013. 110-114. Print. 3. Matejchuk, V.P., K. Lejda, S.Yu. Gutarevych, M.P. Cjuman. "Modeljuvannja ekologichnyh pokaznykiv transportnyh zasobiv v informacijno-analitychnij systemi monitoringu transportnyh potokiv." Visnyk Nacional`nogo transportnogo universytetu. No. 30. Kiev: NTU, 2014. 246-254. Print. 4. Gryshchuk O.K., O.P. Kobzyska, I.S. Fedij. "Ocinka ekologichnogo navantazhennja v procesi ekspluatacii diljanki avtomobil`noi dorogi." Visnyk Nacional`nogo transportnogo universytetu. No. 30. Kiev: NTU, 2014. 69-77. Print. 5. Gutarevych, Yu.F., D.V. Zerkalov, A.G. Govorun. Ekologija ta avtomobil`nyj transport: navch. posibnyk. Kiev: Aristej, 2006. Print. 6. Ljevtjerov A. M., V. P. Marahovskij, V. D. Savyczkij. "Vyvchennja vplyvu motornyh vlastyvostryj biopalyva na energoekologichni harakterystyky dyzel`nogo dvyguna." Avtomobil`nyj transport: sb. nauch. tr. M-vo obrazovaniya i nauki Ukrai'ny, KhNADU. Ed. A. N. Turenko. No. 31. Kharkiv, 2012. 57-61. Print. 7. Shapko, V.F., Atamas` A.I., Shapko S. V. "Pidvyshhennja ekologichnyh pokaznykiv dyzel`nogo avtomobilja pid chas vykorystannja biodyzel`nogo palyva." Visnyk Kremenchucz`kogo nacional`nogo universytetu imeni Myhajla Ostrograds`kogo. No. 3/2012(74). Kremenchuk: KrNU im. M. Ostrograds`kogo, 2012. 128–132. Print. 8. Shapko V.F., S.M. Chernenko, A.I. Atamas`, A.Yu. Gorpynchenko. "Ekologicheskie pokazateli dyzel`nyh dvygatelej s raznymi uslovijami smeseobrazovaniya pri rabote na biodyzel`nom toplive." Sbornik trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencyi "Novye materialy i tehnologii v mashynostroenii". No. 13. Bryansk: BGITA, 2011. 72–77. Print. 9. Shapko S.V., V.F. Shapko "Pokaznyky ocinki stabil`nosti ekologichnyh harakterystyk avtomobilja z katalitychnym nejtralizatorom vidprac`ovanyh gaziv." Naukovyj zhurnal "Ekologichna bezpeka." Naukovi praczi KNU im. M. Ostrograds`kogo. No. 1/2011(11). Kremenchuk: KNU im. M. Ostrograds`kogo, 2011. 78–80. Print. 10. Pravila 49 JeEK OON. Edinoobraznye predpisanija, kasayushhiesja oficial`nogo utverzhdenija dvygatelej s vosplameneniem ot szhatija i transportnyh sredstv, osnashhennyh dvygateljami s vosplameneniem ot szhatija, v otnoshenii vydelaemyh imi zagryzajajushhijh veshhestv. – Zaklyucheno v Zheneve 20.03.58.

Надійшла (received) 27.02.2015