

их поляризации устраняет нестабильную составляющую остаточной поляризации и обеспечивает стабильность характеристик сенсоров, в частности, пьезокоэффициенты в течение нескольких лет уменьшаются всего на 2—3%. Применение разработанных режимов изготовления сенсоров на основе ПВДФ обеспечило повышение пьезокоэффициента на 12%, пьезоэлектрического коэффициента — на 14% и коэффициента электромеханической связи — на 15% по сравнению с датчиками, серийно выпускаемыми фирмой Куреха (Kureha Chemical Corporation), Япония, крупнейшим в мире разработчиком и производителем пленок ПВДФ [8].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Клаасен К. Основы измерений. Датчики и электронные приборы. — М.: Издательский Дом «Интеллект», 2008. [Klaassen K. Osnovy izmerenii. Datchiki i elektronnye pribory. M. Izdatel'skii Dom «Intellekt». 2008]

2. Gu H., Zhao Y., Wang M. L. A wireless smart PVDF sensor for structural health monitoring // Structural Control and Health Monitoring. — 2005. — Vol. 12, N 3—4. — P. 329—343.

3. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. — М.: Мир, 1989. [Vigle G. Datchiki. Ustroistvo i primeneniye. Moscow. Mir. 1989]

4. Калашников В. И., Нефедов С. В., Путилин А. Б. и др. Информационно-измерительная техника и технологии. — М.: Высшая школа, 2001. [Kalashnikov V. I., Nefedov S. V., Putilin A. B. i dr. Informatsionno-izmeritel'naya tekhnika i tekhnologii. Moscow. Vysshaya shkola. 2001]

5. Electrets. Vol. 1 // Ed. by G. M. Sessler. — Morgan Hill: Laplacian Press, 1999.

6. Федосов С. Н., Сергеева А. Е., Бутенко А. Ф. Поляризационные и релаксационные процессы в полимерных сегнетоэлектриках. — Одесса: Полиграф, 2009. [Fedosov S. N., Sergeeva A. E., Butenko A. F. Polyarizatsionnye i relaksatsionnye protsessy v polimernykh segnetoelektrikakh. Odessa. Poligraf. 2009]

7. Fedosov S. N., von Seggern H. Pyroelectricity in polyvinylidene fluoride: Influence of polarization and charge // Journal of Applied Physics — 2008. — Vol. 103 (014105). — P. 1—8.

8. Iwasaki T. Kureha — the art of manufacturing (booklet), 2010.

Г. А. ДЕВЯТКО, В. А. КУЧМЕНКО,
С. А. ЛАЦИС, к. т. н. М. А. ОРЛОВ,
В. А. ПАРТЫШЕВ, В. Я. ПОДОЛЬСКИЙ

Украина, г. Киев, УкрНИИ аналитического приборостроения
E-mail: analyt@ukranalyt.com.ua

Дата поступления в редакцию
09.06 2010 г.

Оппоненты к. т. н. В. А. БОЛТЕНКОВ
(ОНПУ, г. Одесса);

д. т. н. А. Т. КОЖУХАР (НУЛП, г. Львов)

АВТОТРАССОВЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР

Создан и внедрен в составе системы экологического мониторинга атмосферного воздуха г. Киева компьютеризированный автотрассовый газоанализатор для измерения концентрации токсичных газов в воздухе вдоль автомагистралей в населенных пунктах.

По данным наблюдений экологов основными источниками загрязнения воздуха в населенных пунктах Украины являются промышленные предприятия и автомобильный транспорт. Но поскольку в настоящее время большинство предприятий работают не на полную мощность или приостановили свою деятельность, а количество автотранспорта на магистралях значительно увеличилось, загрязнение атмосферного воздуха на 85% обусловлено выбросами автотранспортных средств.

Как известно, отработанные газы автомобиля содержат вредные вещества, негативно влияющие на состояние здоровья людей и окружающую среду, причем количество и соотношение таких веществ колеблется в зависимости от типа двигателя, сорта горючего и качества регулирования двигателя. В Украине достаточно часто автомобилисты используют горючее низкого качества, а двигатели автомобилей работают в неэкономных режимах и с малоэффективными устройствами нейтрализации токсичных веществ.

Все это обуславливает загрязнение воздуха вдоль автомагистралей в населенных пунктах токсичными

веществами, которые входят в состав отработанных газов автотранспорта. Опаснейшими загрязнителями воздуха являются оксид углерода и диоксиды азота и серы. Уровни загрязнения воздуха этими веществами на автомагистралях с интенсивным движением транспорта достаточно высоки в течение 10—15 часов в сутки на протяжении всего года, что требует принятия соответствующих мер в населенных пунктах на базе анализа информации, полученной в результате мониторинга уровней загрязнения воздуха [1].

Основной проблемой при организации такого мониторинга является отсутствие современных недорогих серийно выпускаемых аналитических средств измерения концентрации токсичных газов.

Задачей настоящей работы являлось создание и внедрение автоматических газоаналитических средств непрерывного действия для измерения концентрации загрязняющих газов, простых и дешевых при эксплуатации и обслуживании, с экономным потреблением электроэнергии и беспроводной передачей полученных данных в информационно-аналитический центр.

Специалистами ЗАО «Украналит» был разработан, изготовлен, испытан и включен в состав системы мониторинга состояния воздуха в г. Киеве автоматический стационарный компьютеризированный автотрассовый газоанализатор 603 ЭХ01М, который предназначен для одновременного непрерывного измерения концентрации оксида углерода и диоксидов азота и серы в воздухе.

При определении актуальности создания такого газоанализатора был проведен анализ состояния во-

СЕНСОЭЛЕКТРОНИКА

Основные характеристики автотрассового газоанализатора и его аналогов

Технико-экономические характеристики	Модель, производитель, страна			
	Автотрассовый газоанализатор 603 ЭХ01М, «Укрналит», Украина	Датчик 603 ЭХ01, «Укрналит», Украина	САГА-Т, «Сигма-оптик», Россия	Airpointer, фирма MLU, Австрия
Метод измерений	электрохимический	электрохимический	акустооптический	спектральный
Диапазоны измерений массовой концентрации газа (в мг/м ³): — для CO — для SO ₂ — для NO ₂	0 — 100 0,8 — 20 0,6 — 15	0 — 105 0,8 — 19 0,6 — 14	отсутствует 0 — 130 0 — 75	0 — 1100 0 — 55 0 — 20
Диапазон измерений температуры воздуха (в °C)	–40...+60	отсутствует	нет данных	–20...+40
Время установления показаний (в с): — для CO — для SO ₂ — для NO ₂	60 40 120	60 60 60	отсутствует 60 60	60 60 60
Электропитание	6 В (0,3 А) (аккумуляторная батарея и солнечный модуль)	24 В, постоянный ток (по двухпроводному контуру 4—20 мА)	12 В (40 А) (аккумуляторная батарея) или сеть 220 В, 50 Гц	сеть 220 В, 50 Гц
Способ отбора анализируемого воздуха	непрерывный диффузионный	непрерывный диффузионный	принудительный (насосом)	принудительный (насосом)
Связь с внешними устройствами	GSM/GPRS-модем	двухпроводный контур 4—20 мА	отсутствует	отсутствует
Время хранения усредненных данных в памяти газоанализатора	7 суток	отсутствует	нет данных	нет данных
Масса (в кг)	2,5 (вместе с аккумуляторной батареей)	2,4	22,0	35,0
Габаритные размеры (в мм)	240×195×90	310×190×80	нет данных	800×600×500
Условия эксплуатации: — температура окружающего воздуха — относительная влажность — атмосферное давление	–30...+45°C 30...98 % 65...108 кПа	–30...+40°C 30...98 % 65...108 кПа	–20...+40°C нет данных нет данных	–20...+40°C 30...98 % 65...107 кПа
Степень защиты	IP 65	IP 65	нет данных	нет данных
Стоимость (в евро): — газоанализатора — технического обслуживания 1 раз в 12 месяцев (замена сенсоров, периодическая проверка)	3880 520	2760 475	22500 930	55150 2170

проса мониторинга атмосферного воздуха вдоль автомагистралей населенных пунктов и аппаратуры для его обеспечения в Украине и за рубежом.

Автотрассовый газоанализатор 603 ЭХ01М построен на основе электрохимических газовых преобразователей с улучшенными характеристиками. Ин-

формации о его прямых аналогах авторами не обнаружено.

В мире известны газоаналитические приборы для измерения концентрации токсичных газов в атмосферном воздухе, принцип действия которых построен на акустооптическом и спектральном (ультрафио-

летовом или инфракрасном) методах со сложной системой отбора и подготовки анализируемого воздуха. Стоимость таких приборов в 6—14 раз выше стоимости газоанализатора 603 ЭХ01М. Их основные характеристики и параметры созданного газоанализатора приведены в **таблице**.

Как видно из таблицы, преимущества предложенного газоанализатора перед зарубежными аналогами заключаются в том, что он имеет

- меньшие габаритные размеры и массу;
- более широкий диапазон температуры эксплуатации;
- меньшую потребляемую мощность (напряжение и ток питания);
- экономный и простой способ отбора анализируемого воздуха;
- меньшую стоимость.

Кроме того, значительно дешевле его гарантированное постоянное и своевременное техническое обслуживание.

Разработанный автотрассовый газоанализатор конкурентоспособен по своим техническим и эксплуатационным характеристикам и экономическим показателям.

Потенциальная потребность в автотрассовых газоанализаторах в Украине составляет не менее 900 шт.

Ранее подобные газоаналитические приборы не выпускались. В настоящее время в Украине эксплуатируются автотрассовые датчики 603 ЭХ01 производства ЗАО «Украналит», которые работают совместно с комплектом аппаратуры детекторов химических загрязнений (**КДХЗ**). Такой комплекс аппаратно-программных средств сбора и передачи информации обеспечивает электропитание датчиков и прием текущих мгновенных значений измеряемой концентрации контролируемых веществ по двухпроводному контуру постоянного тока 4—20 мА путем непрерывного дискретного опроса датчиков, а также осуществляет первичную обработку полученной информации, усредняя мгновенные значения концентрации загрязняющих веществ с интервалом усреднения 20 мин. Каждый КДХЗ входит в состав соответствующего унифицированного дорожного контроллера управления (**ДКУ**) светофорным объектом. Полученные данные поступают по линиям связи из ДКУ в центральный управляющий пункт автоматизированной системы управления дорожным движением и далее транслируются по каналу выделенной телефонной связи в центр экологического мониторинга. Концентрация загрязняющих веществ в воздушной среде непрерывно измеряется автотрассовыми датчиками, преобразуется в них в унифицированный токовый сигнал 4—20 мА и поступает в соответствующий КДХЗ [2].

Газоанализатор 603 ЭХ01М имеет улучшенные технические и эксплуатационные характеристики по сравнению с автотрассовыми датчиками. В нем уменьшено влияние температуры окружающего воздуха и неизмеряемых компонентов для каждого газового первичного электрохимического преобразователя (**ПЭП**). Также он обеспечивает непрерывный опрос ПЭП, обработку и усреднение результатов измерения,

передачу данных о концентрации загрязнителей потребителям по беспроводной связи и полностью автономное питание прибора.

Создание такого газоанализатора позволило заменить автотрассовые датчики и КДХЗ одним компактным устройством, перейти на цифровые средства обработки и передачи данных и таким образом уменьшить стоимость газоаналитического оборудования для системы мониторинга состояния воздуха.

Принцип работы и характеристики автотрассового газоанализатора

Электрическая функциональная схема автотрассового газоанализатора 603 ЭХ01М показана на **рис. 1**.

Главным узлом сенсорного модуля является первичный преобразователь измеренной массовой концентрации газа в пропорциональный электрический сигнал. В состав каждого из трех газовых сенсорных модулей входит соответствующий ПЭП и плата обработки информации. Сенсорные модули обеспечивают необходимые режимы работы ПЭП и обработку выходных электрических сигналов, которые поступают в модуль обработки и передачи данных (**МОПД**) газоанализатора.

Диапазоны измерения концентрации различных газов автотрассовым газоанализатором указаны в таблице. Границы допустимой основной абсолютной погрешности измерений в каждой точке диапазона измерений при нормальных условиях составляют $\Delta = \pm (0,4 + 0,15C)$, где C — номинальное значение массовой концентрации контролируемого газа в поверочной газовой смеси, мг/м³.

МОПД газоанализатора состоит из микроконтроллера, аналого-цифрового преобразователя, коммутатора входных сигналов, GSM-модема (Q2501В, фирма Wavescom, Франция), клавиатуры, энергонезависимой памяти, датчика температуры и жидкокристаллического индикатора BC1602E3GPLCW (фирма Bolymin, Тайвань), на котором отображаются теку-

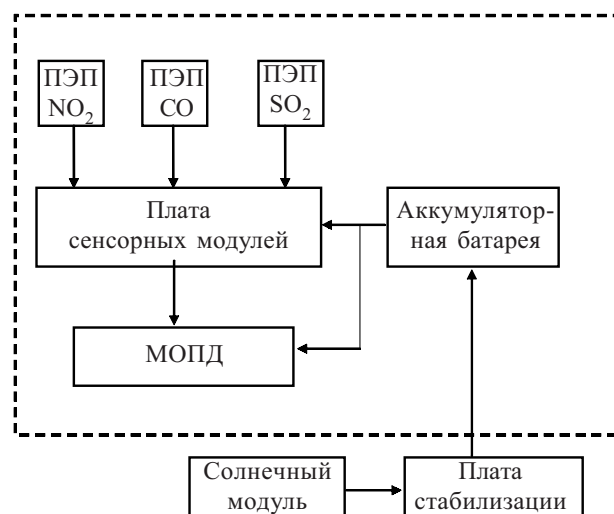


Рис. 1. Электрическая функциональная схема автотрассового газоанализатора 603 ЭХ01М

щие значения измерений массовой концентрации контролируемых газов в мг/м³, обновляемые каждые 3 с, дата, время и температура окружающего воздуха.

Микропроцессорный контроллер, построенный на микросхеме MSP430F1 (фирма Texas Instruments, США), обеспечивает корректировку результатов измерений за счет математической компенсации влияния на каждый ПЭП неизмеряемых им компонентов и температуры окружающего воздуха.

Контроллер выполняет тестирование составляющих частей прибора после подключения питания, запоминает текущие значения концентрации измеряемых газов с интервалом 2 мин, усредняет их за 20 мин, записывает в энергонезависимую память и формирует текстовые файлы полученных данных, которые передаются по GSM-связи в режиме GPRS экологическим информационно-аналитическим центрам и другим заинтересованным организациям. Срок хранения усредненных значений составляет 7 суток. Каждый час GSM-модем автоматически включается для осуществления связи с сервером потребителя. Процесс передачи данных можно наблюдать на индикаторе МОПД. С целью экономии заряда аккумуляторной батареи и исключения возможности передачи случайных данных в газоанализаторе предусмотрено отключение МОПД на время хранения, транспортировки и выполнения работ по установлению и подключению газоанализатора.

Питание газоанализатора осуществляется стабилизированным напряжением 6 В от аккумуляторной батареи, которая непрерывно подзаряжается от солнечного модуля через плату стабилизации.

Ток, потребляемый газоанализатором, не превышает 35 мА в режиме измерения и ожидания команды на передачу данных (GSM-модем ожидает вызов) и 470 мА при передаче данных по GSM-связи в режиме GPRS.

При температуре окружающей среды ниже чем –10°С автоматически включается подогрев SIM-карточки GSM-модема газоанализатора.

В случае снижения напряжения питания МОПД газоанализатора переходит в режим сохранения энергии, при котором контроллер МОПД отключает питание GSM-модема, но измерения не прекращаются, и результаты измерений заносятся в энергонезависимую память.

Узлы газоанализатора установлены в герметичном корпусе из поликарбоната, который обеспечивает степень защиты газоанализатора IP65. Датчик температуры и ПЭП газоанализатора установлены в защитные крышки, расположенные на нижней стороне корпуса газоанализатора, что позволяет контролируемому воздуху поступать через отверстия в них одновременно в каждый ПЭП газоанализатора в непрерывном диффузионном режиме.

Для защиты от несанкционированного вскрытия на корпусе газоанализатора установлен герконовый переключатель. При вскрытии газоанализатора разомкнутые контакты переключателя замыкаются, и на сервер потребителя поступает сигнал.

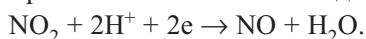
Первичные электрохимические преобразователи газоанализатора

В основу работы ПЭП автотрассового газоанализатора положен принцип преобразования массовой концентрации газа в электрический ток на основе электрохимического эффекта с помощью электрохимических сенсоров. Такие сенсоры работают на основе метода электролиза постоянным током при сохранении определенного потенциала на поверхности чувствительного (рабочего) электрода сенсора. При этом, в зависимости от контролируемого газа, в системе «электрод–электролит» каждого сенсора происходит реакция окисления или восстановления, а ток, который возникает в результате электрохимического эффекта при влиянии газа на чувствительный слой рабочего электрода, прямо пропорционален концентрации этого газа [3].

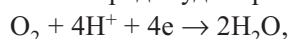
Окисление CO или SO₂ на чувствительном электроде описывается уравнениями



Уравнение восстановления для NO₂ имеет вид



Значит, при окислении CO или SO₂ на сравнительном электроде будет проходить реакция



а при восстановлении NO₂ — реакция



Кроме рабочего и сравнительного (эталонного) электродов в состав ПЭП входят вспомогательные электроды. Все электроды электрохимических преобразователей расположены таким образом, что постоянно находятся в контакте с электролитом, которым заполнена реакционная камера ПЭП.

С помощью специального потенциостата каждого сенсорного модуля, построенного на операционном усилителе УФ1101УД90А (НПО «Кристалл», Украина), на рабочем электроде ПЭП поддерживается потенциал заданного уровня относительно сравнительного электрода. Для каждого токсичного газа устанавливается соответствующий потенциал, который не зависит от изменений, происходящих на вспомогательных электродах. Сравнительный электрод в реакции участия не принимает и служит опорным элементом при заданном потенциале рабочего электрода. С помощью изменения потенциалов на вспомогательных электродах ПЭП стабилизируется фоновый ток, устанавливаются условия селективности и обеспечиваются условия работы ПЭП в заданном температурном режиме.

Одной из важнейших проблем является обеспечение селективности каждого из измерительных каналов газоанализатора. Сложность задачи заключается в том, что каждый ПЭП должен быть селективным по отношению к «собственному» компоненту в контролируемой воздушной среде и неселективным относительно остальных измеряемых и неизмеряемых газоанализатором газов.

Электрохимические преобразователи имеют определенную перекрестную чувствительность к газам,

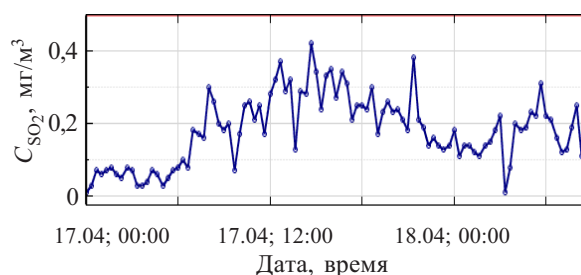
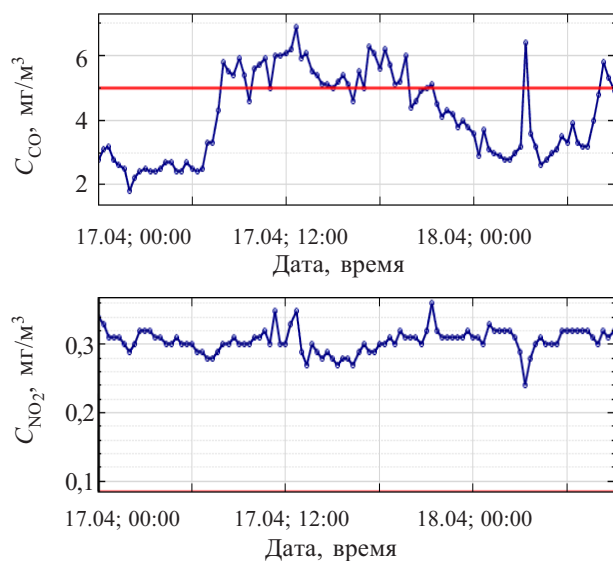


Рис. 2. Фрагменты результатов измерения трассовым анализатором концентрации CO, NO₂, SO₂ в воздухе на площади Победы в Киеве

которые они не должны измерять, зависящую от физико-химической природы и уровня концентрации этих газов, а также от состава катализатора рабочего электрода ПЭП. Для повышения селективности ПЭП было использовано нескольких методов:

- выбор оптимального состава катализатора рабочего электрода ПЭП;
- стабилизация установленного оптимального значения потенциала рабочего электрода;
- использование специальных фильтров, которые поглощают неизмеряемые и мешающие газы из контролируемой воздушной среды.

Однако все эти методы не обеспечивают полную селективность ПЭП. Поэтому в газоанализаторе предусмотрен микропроцессорный контроллер, который обеспечивает корректировку результатов измерения за счет математической компенсации влияния на них неизмеряемых компонентов для каждого преобразователя и температуры окружающего воздуха по формулам и коэффициентам, которые были определены экспериментально при изготовлении и паспортизации каждого ПЭП. Кроме того, программа контроллера учитывает данные по изменению фоновому току и чувствительности каждого ПЭП в процессе эксплуатации. Такие мероприятия позволили улучшить метрологические и эксплуатационные характеристики прибора.

В газоанализаторе 603 ЭХ01М используются четырехэлектродные электрохимические преобразователи, разработанные и изготовленные ЗАО «Укрналит» [4]. Применение таких ПЭП позволило повысить точность измерений в начальной части диапазона измерений путем стабилизации и компенсации фоновому току в ПЭП, уменьшить перекрестную чувствительность каждого преобразователя к другим, неизмеряемым им газам, а также улучшить стабильность работы автотрассового газоанализатора в широком диапазоне рабочей температуры (от –30 до +45°C).

Результаты эксплуатации автотрассового газоанализатора

Система мониторинга степени загрязнения воздуха автомагистралей с использованием газоана-

лизатора 603 ЭХ01М была внедрена в Киеве с 2007 г. и успешно функционировала в течение двух лет. Результаты измерения содержания CO, NO₂ и SO₂ (соответственно C_{CO} , C_{NO_2} , C_{SO_2}) в воздухе поступают к потребителю в графическом виде (как, например, на рис. 2), и сохраняются в его базе данных. Их анализ позволяет разрабатывать методы улучшения экологической ситуации в населенных пунктах.

Таким образом, созданный специалистами ЗАО «Укрналит» автоматический многокомпонентный автотрассовый газоанализатор 603 ЭХ01М может надежно работать в непрерывном режиме на протяжении длительного времени в широком диапазоне температуры, что обеспечивает стабильную работу системы экологического мониторинга степени загрязнения воздуха.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Глушаев В. В., Дев'ятко Г. А., Рижков В. Ф. Визначення міри забруднення повітря автомагістралей м. Києва відпрацьованими газами транспортних засобів // В зб. «Вплив автотранспорту на забруднення атмосферного повітря у м. Києві». — Товариство «Зелена Україна». — 2001. — С 34—35. [Glushaev V. V., Dev'yatko G. A., Rzhkov V. F. // V zb. «Vpliv avtotransportu na zabrudnennya atmosfernogo povitrya u m. Kyevi». Tovarisstvo «Zelena Ukrayina». 2001. P. 34]
2. Дев'ятко Г. А., Лацис С. А., Подольский В. Я., Закрасняный В. В. Система экологического мониторинга состояния воздуха вдоль автомагистралей населенных пунктов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2004. — № 2. — С. 28—29. [Dev'yatko G. A., Latsis S. A., Podol'skii V. Ya., Zakrasnyanyi V. V. // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature. 2004. N 2. P. 28]
3. Дев'ятко Г. О., Лацис С. А., Лемеш Л. В. та ін. Первинні перетворювачі концентрації токсичних газів у повітрі вздовж автомагістралей населених пунктів // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. — 2004. — Вип. 28. — С. 33—37. [Dev'yatko G. O., Latsis S. A., Lemesh L. V. ta in. // Visnik NTUU «KPI», seriya Priladobuduvannya. 2004. Iss. 28. P. 33]
4. Патент на корисну модель 24817, Україна. Спосіб електрохімічного аналізу газів / О. А. Дашковський, Г. О. Дев'ятко, С. Т. Дрьомов та ін. — 2007. — Бюл. № 10. [Patent na korisnu model' 24817, Ukrayina. / O. A. Dashkovs'kii, G. O. Dev'yatko, S. T. Dr'omov ta in. 2007. Bull. N 10]