

# СТАНДАРТИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ДИМНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

У статті розглянуто нормативно-правову базу застосування вимірювачів димності (димомірів) відпрацьованих газів дизельних двигунів та проаналізовано методи вимірювання димності.

**Ш**видкий рівень автомобілізації України, стрімке зростання кількості автомобілів гостро ставить питання екології, а в дизельних двигунах, зокрема, питання їх екологічності стоїть на першому місці, бо, як правило, дизельними двигунами оснащуються важкі вантажні автомобілі, автобуси, будівельна, дорожня і сільськогосподарська техніка. Саме відпрацьовані гази автомобілів дають на сьогодні до 80—90 % забруднення атмосфери у містах і великих мегаполісах [1, 2].

Серед шкідливих газів, що містять відпрацьовані гази автомобілів з дизельними двигунами, — діоксид сірки ( $SO_2$ ); оксид вуглецю (CO); діоксид вуглицю ( $CO_2$ ); оксиди азоту ( $NO_x$ ); вуглеводні ( $C_nH_n$ ); бензапірен ( $C_{20}H_{12}$ ); сажа. Остання містить найбільшу частину шкідливих викидів. Для дизельних двигунів основним нормованим параметром, який характеризує їх екологічний стан, є димність відпрацьованих газів.

Для перевірки відповідності дизельних двигунів екологічним нормативам і стандартам застосовуються відповідні засоби інструментального контролю — ви-

мірювачі димності відпрацьованих газів (димоміри). Ураховуючи, що відповідний національний стандарт ДСТУ 4276-2004 [3], який регламентує рівень димності, уведено у 2006 році, виникає необхідність аналізу сучасного стану існуючих димомірів, розроблення рекомендацій щодо їх удосконалення та доведення технічних характеристик до вимог міжнародних стандартів.

## Норми димності та одиниці вимірювань

Димність автомобілів (двигунів) згідно з ДСТУ 4276-2004 не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці.

Димність дизельних двигунів визначають за допомогою димомірів, які працюють на використанні принципу, який полягає у визначенні рівня поглинання світлового потоку відпрацьованими газами певної товщини.

Димність відпрацьованих газів двигуна автомобіля визначають за показниками (коефіцієнтами) ослаблення світлового потоку, яке виникає внаслідок поглинання та розсіювання відпрацьованими газами потоку

Норми димності автомобілів (двигунів)

Автомобілі	Гранично допустимий показник ослаблення світлового показника, $K_{доп} \text{ м}^{-1}$	Гранично допустимий коефіцієнт ослаблення світлового потоку, $N_{доп} \%$
Автомобілі з дизелями:		
▪ без наддуву	2,5	66
▪ з наддувом	3,0	73
Автомобілі з газодизелями:		
▪ без наддуву	1,7	52
▪ з наддувом	2,0	58

випромінювання від джерела світла (що утворює паралельний пучок) у вимірювальній камері димоміра [3]:

- натуральним показником (коефіцієнтом) поглинання  $K, m^{-1}$ ;
- лінійним показником (коефіцієнтом) поглинання  $N, \%$ .

Натуральний показник (коефіцієнт) поглинання  $K, m^{-1}$  (light absorption coefficient or absorption coefficient) — величина, обернена до товщини шару відпрацьованих газів, проходячи який, потік випромінювання від джерела світла димоміра ослаблюється в  $e$  разів:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln \left( \frac{\Phi}{\Phi_0} \right) \quad (1)$$

де  $\Phi$  — світловий потік від джерела світла димоміра, який реєструє фотоелемент після проходження потоку крізь вимірюване середовище відпрацьованих газів у вимірювальній камері димоміра;  $\Phi_0$  — світловий потік від джерела світла димоміра, який реєструє фотоелемент після проходження потоку крізь чисте повітря у вимірювальній камері димоміра, не заповненій відпрацьованими газами,  $L$  — ефективна база димоміра, м.

Лінійний показник (коефіцієнт) поглинання  $N, \%$  (linear absorption coefficient or opacity) — ступінь ослаблення потоку випромінювання від джерела світла димоміра на відстані, що дорівнює ефективній базі димоміра, внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами під час проходження ними вимірювальної камери:

$$N = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\Phi}{\Phi_0} \right) \quad (2)$$

Графічну залежність натурального показника поглинання  $K$  від лінійного показника  $N$  наведено на рис. 1, числову таблицю перерахунку  $K$  у  $N$  наведено у додатку до ДСТУ 4276-2004 [3].

Перерахунок значень  $N$  у  $K$  здійснюють за формулою [3]:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln \left( 1 - \frac{N}{100} \right) \quad (3)$$

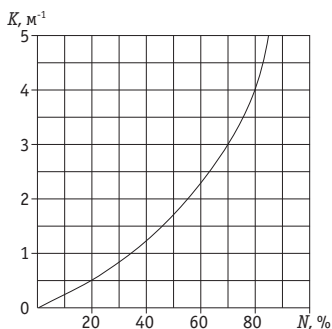


Рис. 1. Залежність між натуральним показником ослаблення світлового потоку  $K$  і коефіцієнтом ослаблення світлового потоку  $N$

### Структурні схеми побудови димомірів

Структурну узагальнену схему димоміра подано на рис. 2. Потік відпрацьованих газів надходить до вимірювальної камери, витягнутої в довжину. З одного боку камери розміщено джерело світла, а з іншого — приймач світла (фотодіод). Стандарт встановлює нормовану довжину — фотометричну базу між джерелом випромінювання і приймачем світла — 0,43 м. Джерело світла та фотоприймач мають спектральні характеристики, відповідні до кривої людського ока у діапазоні 430...680 нм. Залежно від непрозорості диму змінюється ступінь проходження світла, яке потрапляє на фотоелемент. Сигнал фотоприймача є пропорційним ступеню поглинання однорідного за щільністю диму. Оптична система захищена від можливих забруднень примусовим обдуванням за допомогою повітря, яке подається через спеціальний клапан.

Метод просвічування також застосовують у приладах *МЕТА01-МП, СМОГ-1М (Росія), Д0-1 (Білорусь), ІНА-109 (Україна), Бош моделі RTT 100/100 (Німеччина), димомір Opacilit 1030 (Німеччина), 409, 435, 437 фірми AVL (Австрія)*. Прилади, засновані на цьому методі вимірювання, характеризуються високою стабільністю та об'єктивністю показань.

Із метою зменшення довжини вимірювальної частини і загальних габаритів димомірів окремі виробники застосовують дзеркала. Прикладом може бути димомір *OPF 1600S (Франція)* (рис. 3). Його оптична частина складається із пристрою відхилення потоку відпрацьованих газів, лінзи, дзеркала і збільшує відстань, яку проходить світло, в два рази, і у такий спосіб дозволяє отримати потрібну оптичну довжину вимірювання [4].

Аналогічну оптичну схему побудови димоміра використано у димомірі українського виробництва (*НВФ «Спецприлад», www.sprigor.is.com.ua*) — ІДП 2. Конструктивно димомір складається із двох функціональних вузлів: первинного вимірювального перетворювача (ПВП) (рис. 4) та електронного блока (рис. 5) [5].

ПВП складається із оптичного каналу та дифузора, на якому закріплено газовідбірний зонд. Дифузор забезпечує розкриття потоку відпрацьованих газів, які

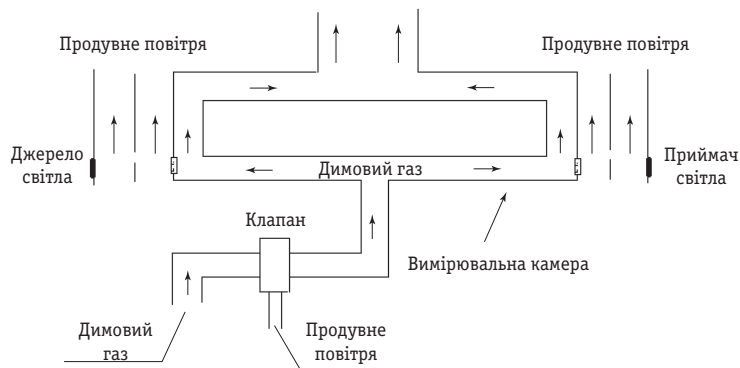


Рис. 2. Структурна схема димоміра

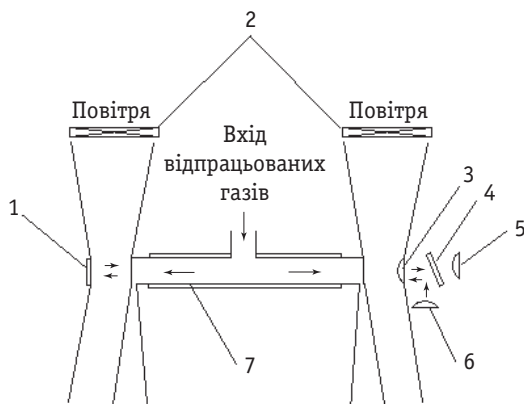


Рис. 3. Принцип дії димоміра OFP 1600S:  
1, 4 — дзеркала; 2 — вентилятори; 3 — лінза; 5 — приймач;  
6 — джерело світла; 7 — корпус, який підігрівається

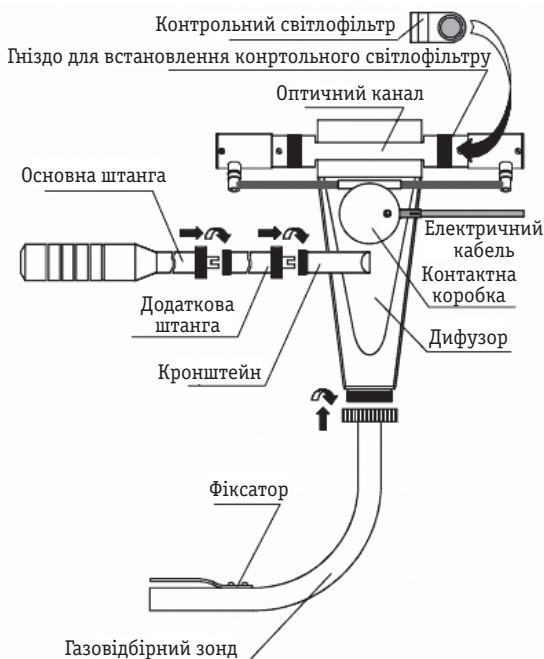


Рис. 4. Первинний вимірювальний перетворювач димоміра ІДП2

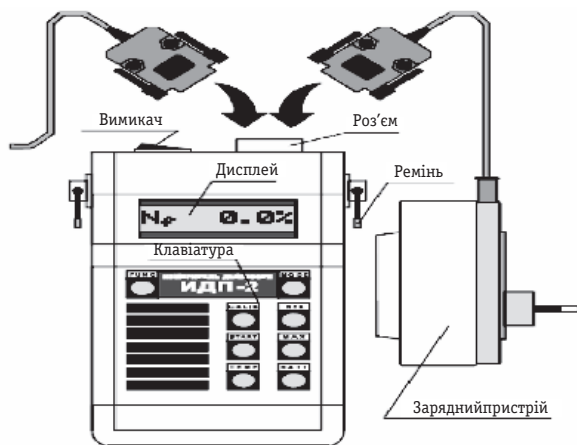


Рис. 5. Електронний блок та схема комутації зовнішніх елементів

надходять до приладу через газовідбірний зонд, формуючи у такий спосіб фотометричну базу в зоні устанавлення оптичного каналу. В останньому встановлено фотоприймач, освітлювач, захисні скельця, які відділяють оптичні елементи від потоку аналізованого газу. На повздовжній осі дифузора перед оптичним каналом розташовано термосенсор. Поряд із контактною коробкою, в якій міститься термосенсор, встановлено кронштейн для під'єднання штанги для переносу ПВП. Штанга має складну конструкцію і, залежно від умов проведення вимірювань, може використовуватися в одну або дві ланки.

Газовідбірний зонд має Г-подібну форму і може обертатися відносно повздовжньої осі дифузора та фіксуватися у будь-якому положенні. Для закріплення на вихлопній трубі газовідбірний зонд оснащено фіксатором, який одночасно є упором.

Електронний блок міститься у пластмасовому корпусі. На передній поверхні останнього встановлено цифровий рідиннокристалічний індикатор та клавіатуру, на верхній торцевій — вимикач джерела живлення та роз'єм для підключення ПВП, на задній панелі — кришку відсіку для акумуляторної батареї, як 4 акумулятори (Ni-Cd напругою 1,2 В, ємністю від 0,7 до 0,9 Аг). Електронний блок з'єднується з ПВП електричним кабелем.

Вибір режиму роботи приладу здійснюється за допомогою клавіатури, яка складається з восьми кнопок без фіксації. Під час натиснення кнопок на цифровому індикаторі відображаються відповідні літери, які підтверджують включення обраного режиму роботи. Окрім того, включення усіх режимів має характерне звукове супроводження.

Деякі виробники з метою зменшення габаритів димоміра зменшують фотометричну базу. У димоміра *МЕТА — 01МП (Росія)* вона дорівнює 0,215 м, а доведення її до нормованої — 0,43 м виконується розрахунковим шляхом за використання у приладі мікропроцесорного пристрою, що за заданою програмою переобчислює результат вимірень до бази 0,43 м. Принцип роботи приладу засновано на вимірюванні величини поглинання світлового потоку і перетворенні аналітичних сигналів до одиниць коефіцієнта поглинання [6]. Димомір виконано у виді переносного пристрою, що складається з вимірювального блока, оптичного датчика та пробозабірника. Призначений він для вимірювання димності відпрацьованих газів дизельних двигунів. Результат вимірень представляється в одиницях поглинання (натурального показника ослаблення ( $m^{-1}$ ) та коефіцієнта ослаблення (%). Визначення димності відпрацьованих газів здійснюється в оптичному каналі (рис. 6). Він містить співвісно розташовані по обидва боки від вимірювальної камери 5 випромінювач, що складається з мініатюрної лампи розжарювання 1, лінзи 2, фотоприймача 3 зі світлофільтром 4. У приладі ▶

передбачено автоматичну реєстрацію і зберігання пікових значень димності у циклі до 10-ти прискорень двигуна, вибору чотирьох останніх значень, обчислення середнього значення; автоматичну реєстрацію та зберігання димності у режимі максимальної частоти обертання валу; вимірювання і автоматичну корекцію свідчень щодо температури відпрацьованих газів; автоматичну корекцію нуля; виведення результатів вимірен димності у виді протоколу на принтер або до занесення бази комп'ютера.

У вимірювальній камері 5 розміщено термосенсор 7, який слугує для вимірювання температури відпрацьованих газів. Лінза 2 формує потік випромінювання лампи 1, світлофільтр забезпечує спектральні властивості оптичної пари, відповідні чутливості ока. Діафрагми створюють захист оптичних елементів від забруднення. Сигнали від датчика температури 7 і сигнали з фотоприймача 3 надходять на аналогові входи мікропроцесора 8, де опрацьовуються та перетворюються відповідно до програми, записаної у ПЗУ. Результати вимірен і супровідна інформація відображаються на дисплеї 9 і можуть виводитися на принтер 10. Живлення здійснюється від акумулятора батареї 11.

**Вимоги міжнародних стандартів щодо димомірів**

Міжнародний стандарт ISO 11614:1999 [7] значно розширює вимоги до технічних характеристик димомірів. Так, чітко встановлюються вимоги до джерел і приймачів випромінювання:

- джерело світла: лампа розжарювання з випромінюваною температурою у діапазоні від 2800 до 3250 K (відповідно до стандарту CIE S 001) або зелений світловипромінювальний діод з амплітудою спектра у діапазоні від 550 до 570 нм.
- приймальний пристрій світлового потоку: фотоелемент або фотодіод (за необхідності зі світлофільтром).

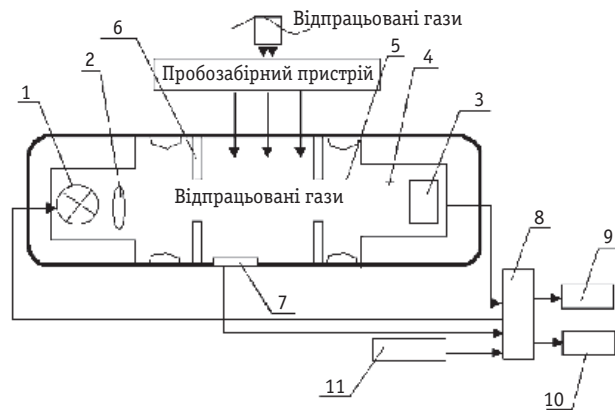


Рис. 6. Функціональна схема вимірювача димності відпрацьованих газів МЕТА-01МП:

- 1 — лампа розжарювання; 2 — лінза; 3 — фотоприймач;
- 4 — світлофільтр; 5 — вимірювальна камера; 6 — захисні шторки; 7 — датчик температури; 8 — мікропроцесор;
- 9 — дисплей; 10 — принтер; 11 — акумуляторна батарея

тром). Якщо джерелом світла є лампа розжарювання, характеристика спектральної чутливості приймального пристрою повинна бути подібною до фотооптичної характеристики людського ока (характеристики максимальної чутливості) у діапазоні від 550 до 570 нм, меншою за 4 % від максимальної чутливості, за довжини хвилі світлового потоку, меншою від 430 і більшою за 680 нм.

*Конструкція димоміра повинна забезпечувати:*

- паралельність ліній світлового потоку, за кутового відхилення потоку від оптичної осі не більшою за 3 градуси;
  - відсутність впливу на приймальний пристрій прямого або відбитого світлового випромінювання з кутом нахилу світлового потоку до оптичної осі більшою за 3 градуси. Прийнятною є будь-яка конструкція, що відповідає зазначеним вище вимогам.
- Необхідно забезпечити регулювання електричних характеристик джерела світла і приймального пристрою для можливості встановлення нульового показання на шкалі димоміра у випадку, коли світловий потік проходить через зону вимірювання, заповнену чистим повітрям, або іншу еквівалентну зону. Передбачити можливість індикації показників з від'ємним знаком і показників за верхньою межею вимірювальної шкали.

Димомір повинен забезпечувати можливість задавання і перевіряння показання, що відповідає повній вимірювальній шкалі (наприклад, за допомогою екрана або світлофільтра з нейтральною оптичною густиною, встановленого перпендикулярно світловому променю, або для димоміра з можливістю вимірювання димності у 100 %, повертаючи або повністю закриваючи освітлювач). Димомір повинен забезпечувати автоматичне або напівавтоматичне виконання послідовності операцій для встановлення нульового показання приймального пристрою на шкалі димоміра і правильного діапазону вимірювання перед початком контролю.

Необхідно передбачити виконання проміжного перевіряння димоміра, використовуючи екран або світлофільтр з нейтральною оптичною густиною, встановлений перпендикулярно світловому променю, за димності відпрацьованих газів у межах від 15 до 80 % повної шкали, відомої з похибкою, не більшою  $\pm 1\%$  за вимірювання димності. Світлофільтр з нейтральною оптичною густиною не повинен належати до обов'язкових елементів обладнання димоміра.

Необхідно забезпечити можливість установа світлофільтра на траєкторії світлового потоку, за проходження потоку через зону вимірювання, заповнену чистим повітрям. Перевірку здійснюють без використання будь-яких інструментів і без відкриття корпусу димоміра.

Похибка показання індикатора за наявності світлофільтра, встановленого між джерелом світла і при-

ймальним пристроєм, не повинна перевищувати 2 % відносно відомої димності світлофільтра.

Також чітко регламентуються температура і тиск у вимірювальній камері, жорстко нормуються динамічні характеристики: швидкодія, фізична, електрична, температурна і загальні сталі димоміра, стала часу, час запам'ятовування імпульсного сигналу.

Димомір повинен мати первинні вимірювальні перетворювачі для вимірювання параметрів, зазначених нижче:

- тиску відпрацьованих газів на вході вимірювальної камери або у вимірювальній камері;
- температури у точці контролю, заданій виробником як точки для вимірювання температури відпрацьованих газів;
- тиску продувального повітря (за необхідності);
- температури відпрацьованих газів перед перепускним клапаном (якщо такий передбачено);
- напруги електроживлення лампи джерела світла (не контролюється, якщо використовується зелений світлодіод);
- вихідного сигналу приймального пристрою (наприклад, сигналу, пропорційного димності відпрацьованих газів).

#### Метрологічне забезпечення димомірів

Метрологічне забезпечення для вимірювачів димності відпрацьованих газів — це комплекс організаційних і технічних заходів, що здійснюється відповідно до «Методики повірки», яка входить до комплекту приладу. У роботах [8, 9] розглянуто основні проблеми метрологічного забезпечення димомірів; підкреслено, що повірка основних метрологічних параметрів димомірів потребує суттєвого доопрацювання. У пер-

шу чергу, це стосується визначення ефективної фотометричної бази приладу, від величини якої істотно залежить результат вимірень. Відсутня стандартна методика, що дозволяє визначити відповідність заявленій розробником димоміра величині ефективної фотометричної бази її фактичного значення за вимірювання димності.

Спектральну характеристику приладу перевіряють за допомогою нейтральних (у діапазоні 400...700 нм) світлофільтрів. Визначити смугу пропускання фотоприймача і характер її зміни також не можливо.

#### ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показав, що більшість вітчизняних та імпортованих димомірів не відповідають сучасним міжнародним стандартам у частині технічних і метрологічних вимог. Сучасний димомір — це не просто прилад, що вимірює ослаблення світлового потоку (тобто один вимірювальний параметр), як це було 5—10 років тому, а багатоканальний вимірювальний комплекс, що повинен одночасно вимірювати димність у двох системах одиниць; частоту обертань і температуру оливи двигуна; тиск і температуру у вимірювальній камері; напругу живлення джерела світла тощо.

Потребує удосконалення метрологічне забезпечення, оптимізація повірочної схеми з урахуванням необхідності повірки декількох вимірювальних каналів різних фізичних величин, що входять до складу сучасних димомірів, гармонізації з міжнародними стандартами.

Отже, створення сучасних оптичних димомірів потребує комплексних сумісних зусиль фахівців різних галузей — приладобудування, електроніки, метрології та програмування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А. Г., Корпач А. О., Мержиєвська Л. П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. — К.: Арістей, 2006. — 292 с.
2. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. — Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марченка та проф. А. Ф. Шеховцова. — Харків: Прапор, 2004. — 360 с.
3. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями: ДСТУ 4276:2004.
4. Савич Е.Л., Кручек А.С. Инструментальный контроль и государственный технический осмотр автотранспортных средств. — М.: Новое издание, 2008. — 409 с.
5. Научно-производственная фирма «Спецприбор». «Измеритель дымности переносной ИДП-2». Паспорт ИДП-2.00.00.000 ПС.
6. Научно-производственная фирма «МЕТА». «Измеритель дымности отработавших газов». Руководство по эксплуатации М 006.000.00-03 РЭ.
7. ISO 3929:2003. Road vehicles — Measurement methods for exhaust gas emissions during inspection or maintenance (Колісні транспортні засоби. Методи вимірювання шкідливих газових викидів під час технічного контролю чи технічного обслуговування).
8. Дядин А. П., Васильев И. П. Разработка дымомеров для замера дымности тепловозных дизелей // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — 2008. — Ч. 1. — № 5 (123). — С. 131—135.
9. Звонов В.А., Дядин А.П. и др. Метрологические аспекты измерения дымности (www.sprbor.is.com.ua).

*В. Приміський, кандидат технічних наук, доцент, НТУУ «КПІ», м. Київ*

## ДП «ДНІПРОСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» — НАДІЙНІСТЬ, ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ТА ПРОФЕСІОНАЛІЗМ



Одним із інструментів у зміцненні промислово-економічного потенціалу країни є національна система технічного регулювання, яка забезпечує надійний захист прав споживачів, убезпечує їх життя, здоров'я та умови для підвищення конкурентоспроможності українських виробників й випуску якісної продукції.

Реалізацію державної політики у сфері технічного регулювання у Дніпропетровській області забезпечує державне підприємство «Дніпропетровський регіональний державний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації» (ДП «Дніпростандартметрологія»), що належить до сфери управління Міністерства економічного розвитку і торгівлі України.

Трудова біографія Центру почалась від дня заснування Дмитром Івановичем Менделєєвим Катеринославської Повірочної Палатки мір і вагів у 1902 році. Постійне розширення, реорганізація та удосконалення діяльності упродовж понад століття сприяло створенню розвиненої професійної організації.

Сьогодні ДП «Дніпростандартметрологія» — провідне багатопрофільне підприємство з сучасною матеріально-технічною базою, яке здійснює свою діяльність за напрямками метрологія, стандартизація, сертифікація та проводить випробування промислової і харчової продукції в випробувальних науково-дослідних центрах. Його успішна робота базується на партнерських відносинах із владою та громадсько-суспільними інституціями, фаховості персоналу, вивченні світового досвіду та використанні новітніх технологій.

Основним напрямком діяльності Центру є метрологія, яка на сьогодні відіграє важливу роль у виробництві конкурентоспроможної продукції, охороні довкілля, використанні природних ресурсів, адже спрямована на захист споживачів від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Метрологічна служба ДП «Дніпростандартметрологія» уповноважена на право проведення перевірки (калібрування) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) за 12 видами вимірювань.

Метрологічна база підприємства, в якій експлуатуються понад 1700 повірених й атестованих робочих еталонів, дозволяє у повному обсязі забезпечити перевірку та калібрування ЗВТ підприємств Дніпропетровського регіону, а з окремих видів перевірок — засобів діагностики і лікування хворих, засобів неруйнівного контролю, твердості й параметру руху — надавати допомогу підприємствам інших регіонів України.

У напрямку стандартизації Центр веде один з найбільших фондів нормативних документів в Україні, який налічує понад 30 000 одиниць актуалізованих стандартів, технічних умов, класифікаторів, покажчиків та інших документів, що повністю забезпечує потреби підприємств і організацій області.

ДП «Дніпростандартметрологія» є секретаріатом ТК 117 «Ракетна і ракетно-космічна техніка» та членом дев'яти ТК у гірничорудній галузі, машинобудівельній та металургійній промисловості, хімії та нафтохімії.

Ще одним надзвичайно важливим елементом захисту продукції є сертифікація. Основною її метою є запобігання реалізації продукції, небезпечної для життя, здоров'я й майна громадян та сприяння споживачеві у виборі товару.

Орган з сертифікації, що діє при ДП «Дніпростандартметрологія», має право на проведення сертифікації різноманітної продукції та послуг, систем управління якістю за ДСТУ ISO 9001—2009 та систем управління безпечністю харчової продукції за ДСТУ ISO 22000—2007. Технічна компетентність органу з сертифікації неодноразово підтверджувалась Національним агентством України з акредитації.

Центр призначено органом з оцінки відповідності вимогам 7 технічних регламентів.

Потужні випробувальні центри харчової та промислової продукції підприємства оснащені найсучаснішим обладнанням та дозволяють проводити випробування широкою гамою продукції, результати роботи яких є індикатором якості та безпеки продукції у регіоні.

Усі перераховані напрямки діяльності підприємства мають за головну мету — створення у Дніпропетровському регіоні умов для випуску конкурентоспроможної продукції, забезпечення споживачів якісними товарами та послугами. ■

*Шипко Олексій Федорович,  
генеральний директор,*

*ДП «Дніпростандартметрологія», м. Дніпропетровськ*