



УКРАЇНА

(19) UA (11) 30411 (13) A

(51) 6 G01F25/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ГРАДУЮВАННЯ КРИТИЧНИХ ВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ

(21) 98031485

(22) 25.03.1998

(24) 15.11.2000

(33) UA

(46) 15.11.2000, Бюл. № 6, 2000 р.

(72) Середюк Орест Євгенович, Петришин Ігор
Степанович(73) Середюк Орест Євгенович, Петришин Ігор
Степанович

(57) Пристрій для градування критичних витратомірів газу, що включає систему подачі газу, дзвоновий мірник і випробовувальну ділянку, який відрізняється тим, що додатково утримує джерело робочого газу, а випробовувальна ділянка утримує витратомір критичного витікання газу та систему забезпечення критичного режиму потоку, що включає газоструминний інжектор, джерело витрати стисненого повітря та блок керування цим джерелом витрати.

Винахід стосується галузі вимірювальної техніки і метрології, а саме - зразкових засобів градування та повірки витратомірів і лічильників газу, зокрема, критичних витратомірів.

Відома зразкова установка, яка використовується як первинний еталон одиниці об'ємної витрати газу, в основу дії якої покладений трубопоршневий метод вимірювання (журнал "Измерительная техника", № 6, 1976, "Государственные первичные эталоны единиц массового и объемного расхода жидкости и газа", с. 45-47). Установка складається з системи створення та стабілізації витрати, апаратури для вимірювання витрати, тиску та температури газу, випробовувальної ділянки, пульта керування. Витрата газу в системі створюється ротаційною газодувкою. Переключення потоків здійснюється чотиреходовим вентилем згідно з сигналами від перетворювачів положення поршня. Для зменшення пульсації потоку служать погашувач та ряд допоміжних пристроїв. Регулювання витрати здійснюється дистанційним регулятором. Потік газу після стабілізації витрати та тиску поступає у випробовувальний трубопровід. Перепад тисків на витратомірі і випробовувальному трубопроводі контролюється зразковими манометрами. Для точного визначення об'ємної витрати газу використовується калібрований об'єм вимірювальної труби, розташованої між безконтактними перетворювачами положення поршня. Діапазон вимірюваних усереднених значень об'ємної витрати газу цією установкою складає $0,001 \dots 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$, а її випадкова похибка не перевищує $8 \cdot 10^{-4}$ при невилученій систематичній похибці $5 \cdot 10^{-4}$.

Відомий еталон витрати газу забезпечує високу точність передачі одиниць витрати газу, але при цьому значення каліброваного об'єму в установці

становить лише 166 дм^3 , що забезпечує можливість її функціонування тільки при малих витратах (не більше $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$). Крім того, градування і повірка критичних витратомірів на ній конструктивно неможливі в зв'язку з обмеженістю по робочих перепадах тиску ротаційної газодувки і замкнутим витратовимірювальним колом функціонування установки.

Відома роторно-поршнева витратовимірювальна установка, яка використовується для градування та повірки лічильників газу і працює згідно з трубопоршневим методом вимірювання (журнал "Приборы и системы управления", № 10, 1983, "Роторно-поршневая дискретно-динамическая расходоизмерительная система", с. 24-25). В цій установці забирання повітря здійснюється з атмосфери з наступним його проходженням через роторне джерело витрати, вимірювальний трубопровід з поршневим розділювачем і випробовувальну ділянку з досліджуванним приладом. Вихід випробовувальної ділянки з'єднаний з атмосферою, а не за допомогою трубопроводу з входом джерела витрати, що свідчить про розімкнуте витратовимірювальне коло. Така конструкція установки хоча і дає можливість регулювати надлишковий тиск в установці, однак його реальне значення становить тільки $1 \dots 4 \text{ кПа}$, що не забезпечує можливості градування критичних витратомірів. Крім того, ця установка хоча і має більший діапазон вимірювання (до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$), однак характеризується значно більшою основною допустимою похибкою ($\pm 0,12\%$) порівняно з проаналізованою вище еталонною трубопоршневою установкою.

Відомий зразковий засіб вимірювання, що базується на методі маса - час, який використовують для вимірювання витрати повітря у авіаційному

(19) UA (11) 30411 (13) A

двигунобудуванні (журнал "Измерительная техника", № 11, 1980, "Точные измерения расхода воздуха в авиационном двигателестроении", с. 51-52). Випробовувальна витратомірна установка для газів (ВВУ) складається з системи подачі і стабілізації витрат газу (балонна рампа, трубопроводи, редуктор), випробовувальної ділянки з повірюваним витратоміром, перемикачем потоків, пристроєм для зважування газу, пристроєм для вимірювання та реєстрації інтервалу часу, тиску, температури. ВВУ використовують для градування робочих засобів вимірювання витрат, наприклад, критичних витратомірних сопел. На початку процесу градування здійснюється протікання газу через систему подачі і стабілізації витрати газу в атмосферу. В момент переключення потоку на заповнення вимірювального балону починається автоматичний відлік часу та реєстрація температури та тиску. Критичне сопло, яке розташоване між струмене-випрямлячем та перемикачем потоків, дозволяє виключити вплив росту тиску в вимірювальному балоні на задану витрату. При зворотному перемиканні газ поступає в атмосферу, а відлік часу та реєстрація інших параметрів припиняється. Після цього здійснюється зважування газу. Масу газу визначають як різницю результатів зважування до і після заповнення вимірювального балону. По вимірних значеннях інтервалу часу розраховують масову витрату. Для ВВУ максимальна витрата газу складає 7 кг/с, похибка вимірювань складає $\pm 0,4\%$. Однак для досягнення великих витрат необхідно створювати великогабаритні установки, що з одного боку значно збільшує її складність та трудоемність градування, а з іншого - вимагає обладнання додатковими пристроями стабілізації потоку.

Ця установка також характеризується значною складністю в конструктивному виконанні (пристрій стабілізації потоку і швидкодіючі перемикачі на прямку його протікання), потребує використання прецизійних засобів вимірювання маси газу, а також застосування високоточних контрольно-вимірювальних приладів параметрів газу (тиску, температури). Крім того, вона складна в експлуатації так як заповнення вимірювального балону газом можна проводити тільки до досягнення певного тиску в ньому, тобто при умові забезпечення критичного режиму протікання повітря через критичне сопло.

Серед зразкових витратовимірювальних засобів, що працюють при великих статичних тисках і витратах (верхня межа вимірювань складає $10000 \text{ м}^3/\text{год}$), відома поршнева витратовимірювальна установка РПДУ - 41 пг, яку використовують для градування і повірки на природному газі лічильників і витратомірів великих типорозмірів (журнал "Измерительная техника", № 11, 1995, "Метрологическая аттестация поршневой расходоизмерительной установки природного газа", с. 28-30). При цьому установка працює не тільки як зразковий засіб по відтворенню та вимірюванню витрати природного газу, але й об'єму газу, з границею основної похибки $\pm 0,41\%$. В цій установці, розширення діапазону робочих витрат в сторону зменшення значно обмежене, так як наявність поршневого розділювача зумовлює значне зростання її похибки при малих лінійних швидкостях руху

поршня. Поряд з цим, метрологічна атестація установки опосередкованим методом не дає достатньої точності і вірогідності співставлення результатів вимірювань витрат нею і існуючим еталоном (див. ГОСТ 8.143-75 "ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$ "). Поряд з цим використання для її атестації інших витратовимірювальних засобів прямого вимірювання витрати, наприклад, критичних витратомірів, приводить до зниження її метрологічних характеристик. Ця установка не може працювати на різних робочих середовищах, наприклад, повітря чи інший газ. Їй характерні значні габарити і складність конструктивного виконання (велика кількість дистанційно-керованих засувов, необхідність вибухобезпечного виконання пристроїв збору вимірювальної інформації та інше).

На даний час вимірювання великих витрат та градування зразкових засобів вимірювань складає найбільшу проблему. При вимірюванні великих витрат в ряді випадків використовують метод площа-швидкість, що обґрунтовується складністю реалізації на практиці інших методів. Зв'язок цього методу з еталонними засобами складний, теоретична оцінка його точності затруднена внаслідок використання ряду емпіричних коефіцієнтів.

Останнім часом для атестації витратомірів, що працюють на великих витратах і великих статичних тисках, використовують повірочні установки, що містять критичні витратоміри. Витрата газу через такі витратоміри не залежить від тиску за звужуючим пристроєм і визначається головним чином тиском і температурою газу перед ним. Критичними витратомірами можна повірять як масові, так і об'ємні витратоміри і лічильники газу. У ряді повірочних установок вони використовуються як стабілізатори потоку газу.

Відома поршнева витратовимірювальна установка природного газу, що складається з каліброваного вимірювального трубопроводу, випробовуваної ділянки, компаратора з критичними соплами, з'єднуючих трубопроводів, системи автоматичного керування, збору та обробки вимірювальної інформації та приладів, що випробовуються. Установка реалізує дискретно-динамічний метод точного вимірювання та відтворення витрати і об'єму газу, який передбачає досягнення заданого значення відтворюваної витрати, запуск поршневого розділювача у вимірювальний трубопровід, збір вимірювальної інформації з установки та випробовуваного приладу під час руху поршневого розділювача між фотодетекторами і плавну зупинку поршневого розділювача (див. журнал "Измерительная техника", № 11, 1995, "Метрологическая аттестация поршневой расходоизмерительной установки природного газа" с. 28-30). Ця установка забезпечує можливість градування витратомірів та лічильників газу одночасно при високих тисках і на природному газі. Однак використання для її метрологічної атестації критичних сопел, що входять до складу компаратора, знижує точність передачі одиниці вимірювання витрати від еталона і погіршує її метрологічні характеристики.

Найбільш близьким до запропонованого виходу по сукупності ознак існує пристрій для повірки

витратомірів та лічильників газу (а.с № 506765, Б.И. № 10, 1976 р.), який складається з системи подачі стабілізації витрат газу, дзвонового газового мірника та випробовувальної ділянки, що містить повірюваний прилад та регульований клапан. Система подачі і стабілізації витрат газу складається з повітродувки, запірнього клапана, стабілізатора тиску та набору контрольних калібрувальних опорів. Пристрій працює на принципі порівняння витрати, яка проходить через контрольний калібрувальний опір, з показами витратоміра, що знаходиться у випробовувальній ділянці. При цьому дзвоновий мірник, який під'єднаний до трубопроводу між контрольним опором і повірюваним витратоміром використовується як індикатор миттєвої витрати. Таке конструктивне виконання передбачає врахування метрологічних характеристик як калібрувального опору, так і дзвонового мірника при оцінці точності повірюваного витратоміра. А враховуючи, що калібрувальні опори градууються цим же дзвоновим мірником під час режиму самоперірки, то така ступенева послідовна передача одиниці вимірювання знижує точність повірки і градування досліджуваного витратоміра. Тому цей пристрій не може характеризуватися достатньо високою точністю.

Поряд з цим проаналізований пристрій не забезпечує градування та повірку критичних витратомірів внаслідок неможливості досягнення критичного режиму витікання газу. Реалізація цього режиму можлива при забезпеченні співвідношення абсолютних тисків газу після та до критичного сопла не більше 0,528. Враховуючи, що значення надлишкових тисків під дзвоном установки як правило не перевищує 5-8 кПа, то на практиці реалізація такої умови цим пристроєм неможлива.

В основі винаходу поставлена задача створення такого пристрою для градування та повірки критичних витратомірів газу, який би шляхом забезпечення стабілізованої витрати газу, підтримки її незмінною протягом усього циклу повірки та зіставленням метрологічних характеристик приладів, створював би ідентичність умов вимірювання та звіряння і тим самим забезпечував би передачу з необхідною точністю розмірів одиниць вимірювань об'єму і об'ємної витрати газу від зразкової витратовимірювальної установки до критичних витратомірів на будь-яких різновидах робочих газів.

Задача вирішується наступним чином.

Відомий пристрій для повірки витратомірів та лічильників газу, що включає систему подачі газу, дзвоновий мірник і випробовувальну ділянку, обладнану системою забезпечення критичного режиму потоку через критичний витратомір, яка містить газоструминний інжектор, джерело витрати стисненого повітря та блок керування цим джерелом витрати. Для випадків, коли необхідно створити умови градування на природному або іншому робочому газі, пристрій утримує джерело робочого газу з редуктором.

Забезпечення постійних умов вимірювань і звіряння метрологічних характеристик приладів, які забезпечують ці умови у комплексі, зумовлюють досягнення необхідної точності і повторюваності результату вимірювання. Головний чинник, який при цьому враховується - стабільність потоку на виході дзвонової витратовимірювальної уста-

новки та перед градуйованим критичним витратоміром, а також забезпечення умов критичного режиму потоку через критичне сопло.

Характеристиками потоку, які зумовлюють відтворення витрати даним винаходом, є параметри газу під дзвоном на початку відліку контрольного об'єму P_1 , T_1 , V_{1n} , котрі характеризують відповідно абсолютний тиск, температуру і об'єм газу під дзвоном. З врахуванням того, що дзвонова витратовимірювальна установка - це джерело стабільної витрати, то тиск і температура під дзвоном в процесі градування в межах її похибки не змінюються. Тому параметри повітря в кінці відліку контрольного об'єму будуть становити відповідно P_1 , T_1 , V_{1k} , де V_{1k} - об'єм газу під дзвоном в кінці відліку контрольного об'єму. При цьому різниця об'ємів $\Delta V = V_{1n} - V_{1k}$ буде становити контрольний об'єм газу, який відмірюється дзвоновим мірником. Об'ємна витрата газу Q при витісненні його дзвоном за час τ становить

$$Q = \Delta V / \tau \quad (1)$$

Масова витрата Q_m газу на виході установки при цьому запишеться виразом

$$Q_m = Q \cdot \rho = \Delta V \cdot P_1 / \tau \cdot \kappa \cdot R \cdot T_1, \quad (2)$$

де

ρ - густина робочого газу під дзвоном,

κ , R - коефіцієнт стискуваності та питома газова постійна робочого газу відповідно.

Масова витрата повітря через критичне сопло записується виразом

$$Q_c = \mu \cdot F \cdot c \cdot \frac{P_2}{\sqrt{RT_2}}, \quad (3)$$

де

P_2 та T_2 - абсолютний тиск та температура ізентропічно заторможеного газу перед критичним соплом,

μ - коефіцієнт витрати сопла,

F - площа отвору сопла,

c - функція критичної витрати газу через сопло.

Враховуючи, що для відтворення умов вимірювання масова витрата повітря на виході дзвонового мірника повинна дорівнювати масовій витраті повітря через критичне сопло $Q_m = Q_c$, то при забезпеченні цих умов коефіцієнт витрати критичного сопла визначається формулою

$$\mu = \frac{\Delta V}{\tau} \cdot \frac{1}{\sqrt{R \cdot \kappa \cdot F \cdot c}} \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{\sqrt{T_2}}{T_1}. \quad (4)$$

Оскільки $\Delta V / \tau$ зумовлено високою точністю зрізкової дзвонової установки, то для зіставлення метрологічних характеристик дзвонової установки і критичного сопла підбирають відповідний режим роботи системи забезпечення критичного режиму потоку у соплі, який розраховується в залежності від температури і необхідних значень абсолютного тиску на вході і виході сопла, а також площі його отвору.

Для забезпечення критичного режиму сопла винахід утримує газоструминний інжектор, джерело витрати стисненого повітря та блок керування цим джерелом витрати. За допомогою, газоструминного інжектора стає можливим досягнення і підтримання під час градування на виході критичного сопла такого абсолютного тиску, який є меншим від атмосферного тиску повітря. Необхідне значення тиску на виході сопла розраховується

в залежності від умов градування і конструкції критичного витратоміра, а їх практична реалізація визначається конструкцією інжектора, робочим надлишковим тиском і витратою повітря джерела стисненого повітря. При цьому зауважимо, що згідно з конструктивними особливостями критичних витратомірів співвідношення абсолютних тисків на його виході і вході треба забезпечувати не рівним певному значенню, наприклад, 0,528, а будь-яким меншим або рівним цьому значенню. Ця умова суттєво знижує вимоги як до конструктивного виконання газострумного інжектора, так і до технічних характеристик джерела витрати стисненого повітря і блока керування ним.

Для створення умов градування і повірки на різних середовищах, наприклад, на природному газі, пристрій обладнаний джерелом робочого газу з редуктором.

При відповідному підборі зразкових засобів в залежності від параметрів потоку, винахід дозволяє експериментально визначати коефіцієнт витрати критичного сопла, що досягається алгоритмом його градування і забезпечує необхідну точність передачі розмірів одиниць вимірювань від зразкової установки.

На фігурі зображений пристрій для градування критичних витратомірів газу. Пристрій складається з 1 - дзвону, 2 - витіснювача, системи забезпечення постійного тиску під дзвоном, що містить компенсаційну стрічку 3 і противагу 4 для її натягу, системи вимірювання контрольованого об'єму газу, що складається з контрольної лінійки 5, з'єднаної сталюю стрічкою 6 з дзвоном 1, освітлювача 7, фотоприймача 8 і вимірювача контрольованого об'єму газу 9, системи подачі газу для наповнення дзвона, що містить повітродувку 10, джерело робочого газу 11, редуктор 12, запірні клапани 13, 14 і підвідні трубопроводи 15, 16, випробувальної ділянки, що складається з критичного витратоміра 17, газострумного інжектора 18, джерела витрати стисненого повітря 19 з блоком керування 20 і додатковим трубопроводом 21, вихідного трубопроводу 22 з запірним клапаном 23.

Функціонально елементи 1...9 утворюють дзвоний мірник, а елементи 18...21 - систему забезпечення критичного режиму потоку газу.

Пристрій для градування критичних витратомірів працює таким чином.

Перед початком випробувань на повітрі заповнюють простір під дзвоном 1 від джерела витрати 10 через трубопровід 15 і відкритий клапан 13. При цьому клапани 14 і 23 у відповідних трубопроводах 16 і 22 закриті. При досягненні дзвоном 1

заданого верхнього положення клапан 13 закривають і припиняють подачу повітря від повітродувки 10. Дзвін опиняється у нерухомому зваженому стані. Далі за допомогою джерела витрати стисненого повітря 19 і блока керування 20 в залежності від параметрів критичного витратоміра створюють необхідну витрату повітря у газострумному інжекторі 18, яка подається до нього додатковим трубопроводом 21. Цим забезпечується досягнення в робочій зоні інжектора абсолютного тиску, що є меншим від атмосферного. Після відкриття клапана 23 дзвін 1 починає опускатися під дією власної ваги і витискати повітря у вихідний трубопровід 22. Після завершення перехідного процесу, тобто при досягненні усталеної заданої витрати повітря, дзвін 1 безперервно опускається і підтримує за рахунок власної ваги і компенсаційної стрічки 3 стабільний тиск у вихідному трубопроводі 22 на вході критичного витратоміра 17. Одночасно з опусканням дзвону 1 вимірювачем 9 за допомогою контрольної лінійки 5, освітлювача 7 і фотоприймача 8 відміряється певний заданий контрольний об'єм повітря. При цьому також вимірюють параметри тиску і температури повітря під дзвоном і перед критичним витратоміром, які забезпечують можливість проведення обчислень згідно з алгоритмом (4).

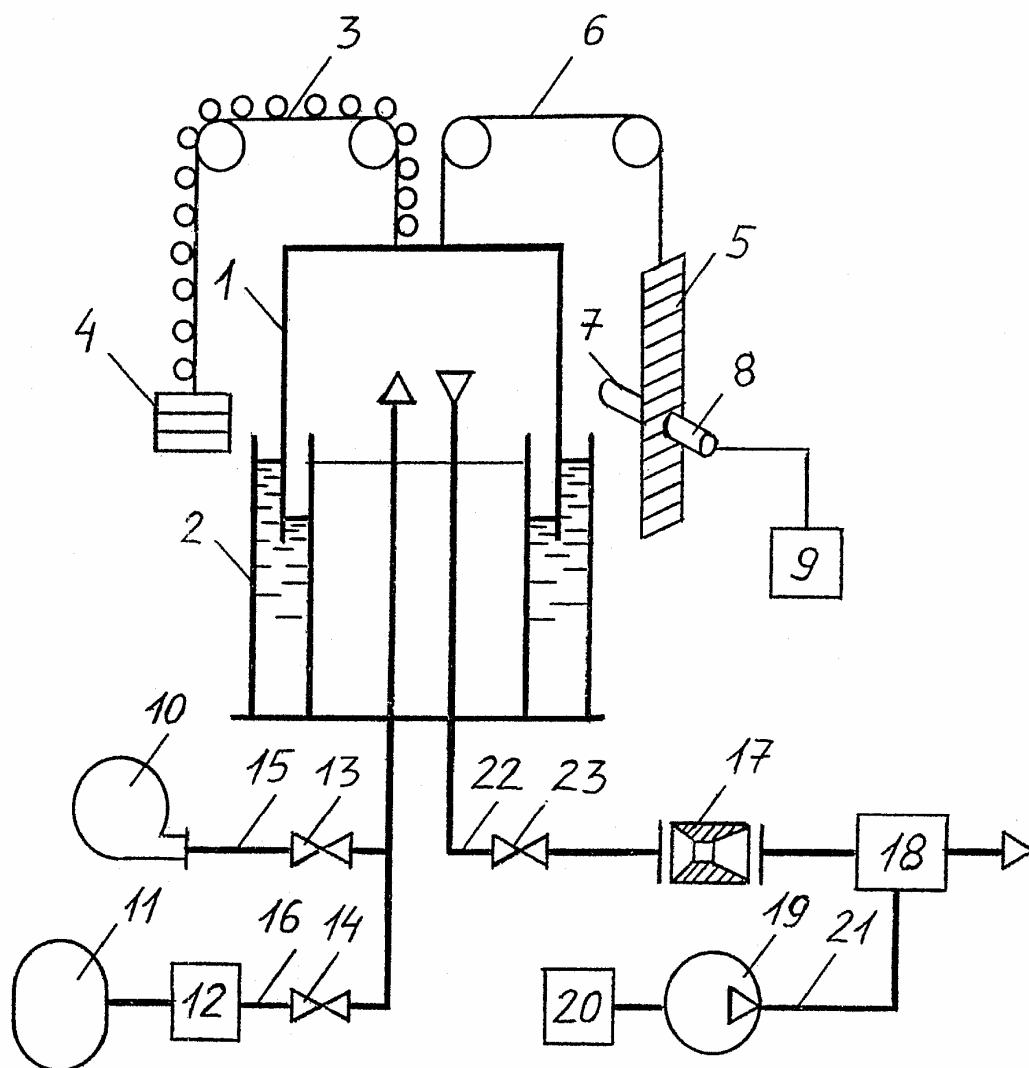
За рахунок безперервного подавання стисненого повітря у інжектор 18 від джерела витрати 19 підтримується понижений тиск на виході критичного витратоміра 17, чим забезпечується його критичний режим роботи.

При опусканні дзвона 1 до крайнього нижнього положення запірний клапан 23 закривають і подавання повітря від джерела 19 припиняють.

Градувальний цикл на цьому закінчується.

У випадку проведення випробувань на робочому газі алгоритм залишається незмінним, але на початку градувального циклу заповнення дзвона 1 здійснюється по трубопроводу 16 від джерела робочого газу 11 високого тиску з пониженням його значення редуктором 12 до робочого тиску під дзвоном 1. Під час такого заповнення запірний клапан 13 закритий, а клапан 14 відкритий, який закривають після досягнення дзвоном заданого верхнього положення.

Запропонований пристрій забезпечує досягнення найвищої точності градування експериментальним методом критичних витратомірів газу, так як при цьому можуть бути використані створені на базі дзвонів витратовимірювальних установок еталони об'єму і об'ємної витрати газу.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 35 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22