

## ПОБУДОВА ШКАЛ ВІРТУАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

© Озгович Андрій, Ліхновський Ігор, Тищенко Олена, Кузій Андрій. 2014

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С.Бандери, 12, Львів-79013, Україна  
[andrij\\_ozg@yahoo.com](mailto:andrij_ozg@yahoo.com)

*Узагальнено характеристики шкал вимірювальних приладів, розроблено методу розрахунку параметрів та побудови універсальних шкал віртуальних приладів з врахуванням сучасних вимог та можливостей програмного забезпечення.*

*Обобщено характеристики шкал измерительных приборов, разработана методика расчета параметров и построения универсальных шкал виртуальных приборов с учетом современных требований и возможностей программного обеспечения.*

*Summary of characteristics of scale measuring devices, developed the method of calculation parameters and construction of universal scales of virtual appliances including modern requirements and capabilities of the software.*

**Актуальність роботи.** В епоху цифрових технологій аналогові відлікові пристрої засобів вимірювальної техніки (шкали) продовжують масово використовуватись. Це пояснюється зручністю та можливістю швидкої оцінки значення вимірювальної величини оператором, від чого часто залежить безпека технологічних та комунікативних процесів. Тому аналогові відлікові пристрої використовуються при побудові операторських панелей інформаційно – вимірювальних систем, приладів автомобілів, годинників, тощо. З розвитком електронної техніки, графічних дисплеїв та програмного забезпечення реалізація шкал сучасних приладів та вимірювальних систем докорінно змінилася. Як правило, шкали будуються програмно на різноманітних графічних дисплеях, як складова частина віртуальних вимірювальних приладів. Розвиток принципів побудови програмного забезпечення призвів до модульності, завершеності, універсальності та можливості використання однакових фрагментів програм при реалізації різних задач. Прикладом такої технології можуть бути віджети у системі автоматизованого програмування Qt, та багато інших. При розробленні віджетів, які реалізують відлікові пристрої віртуальних вимірювальних приладів виникає проблема універсалізації, можливості простої адаптації характеристик шкали для вирішення конкретної задачі, за допомогою лише зміни параметрів, а не коду програми.

**Мета роботи.** Розробити алгоритми побудови універсальних шкал віртуальних вимірюваних приладів з можливістю зміни характеристик лише за допомогою налаштування параметрів, без зміни програмного коду. Реалізувати розроблені алгоритми при створенні віджету шкали віртуального приладу на мові C++ для Qt Designer.

**Виклад основного матеріалу.** Шкала засобу вимірювань — частина показувального пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом із пов'язаною з нею певною послідовністю чисел [1].

Елементи шкали:

• Відмітка шкали - знак на шкалі (риска, зубець, точка та ін.), відповідний певному значенню фізичної величини .

• Числова відмітка шкали - відмітка шкали , біля якої проставлено число.

• Нульова відмітка - позначка шкали , відповідна нульового значення вимірюваної величини.

• Поділка шкали - проміжок між двома сусідніми відмітками шкали.

• Довжина поділки шкали - відстань між осями (або центрами ) двох сусідніх відміток шкали , вимірний

вздовж уявної лінії, що проходить через середини найкоротших відміток шкали, виражається в лінійних або в кутових одиницях.

- Ціна поділки шкали - різниця значень величини, що відповідають двом сусіднім позначок шкали.
- Довжина шкали - довжина лінії, що проходить через центри всіх найкоротших відміток шкали і обмеженою початковою і кінцевою відмітками. Лінія може бути реальною або уявною, кривою або прямою.

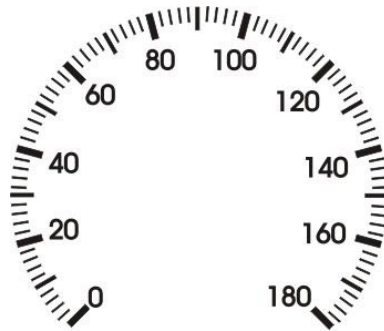


Рис.1. Елементи шкали.

- Початкове значення шкали - найменше значення вимірюваної величини, яке може бути відраховано за шкалою засобу вимірювання.
- Кінцеве значення шкали - найбільше значення вимірюваної величини, яке може бути відраховано за шкалою засобу вимірювання.

Шкали, що наносяться на циферблати, поділяють:

- за формою - на прямолінійні (горизонтальні і вертикальні), секторні (розмах шкали до  $180^\circ$  включно) і кругові (розмах шкали більше  $180^\circ$ );
- за співвідношенням довжин поділок - на рівномірні і нерівномірні. До нерівномірних шкал відносяться логарифмічна, гіперболічна або степенева шкала [2]
- за розміщенням нульової відмітки - односторонні і двосторонні шкали. Одностороння шкала - шкала з нульовою відміткою, розташованою на початку або в кінці шкали. Двостороння шкала - шкала з нульовою відміткою, розташованою між початковою і кінцевою відмітками. Розрізняють симетричні (початкова та кінцева позначки відповідають однаковим значенням вимірюваної величини) і несиметричні двосторонні шкали (початковою і кінцевою відмітками відповідають різні значення).

Побудова шкали повинна базуватися на основних графічних елементах, що описують шкалу (рис. 2.):

- Відмітки шкали - основні або числові (A);
- Середні (B) і малі (C);
- Довжина поділки шкали ( $\Delta$ );
- Базовий блок шкали - L,
- Числа відліку вимірюваної величини (далі - число відліку).

Співвідношення розмірів основних графічних елементів (рис. 2) повинно бути взаємопов'язане з розмірами шрифту чисел відліку, який встановлюються в залежності від дистанції зчитування показів. Відмітки шкали C слід наносити тільки за наявності на шкалі відміток A і B. Числові відмітки шкал допускається виконувати без потовщень.

Рекомендовані, відповідно до психофізіологічних вимог, оптимально допустимі розміри шрифту, залежно від дистанції зчитування визначають за графіком [2] (рис. 3).

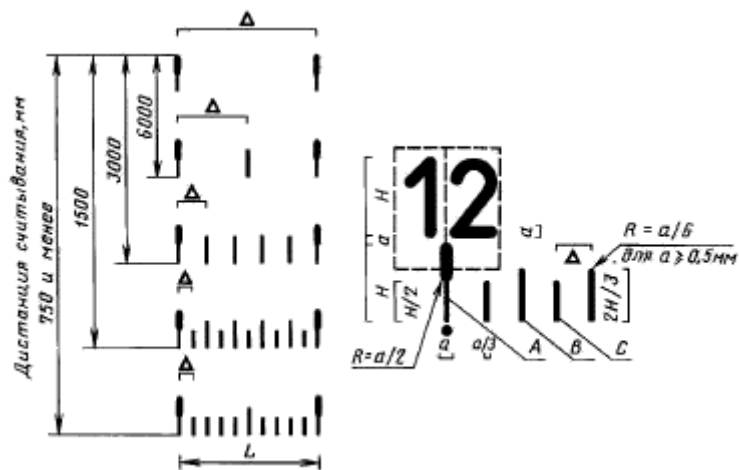


Рис. 2. Графічні елементи шкали.  $H$  – висота шрифту відліку.  $a = H/6$  – товщина ліній шрифту.

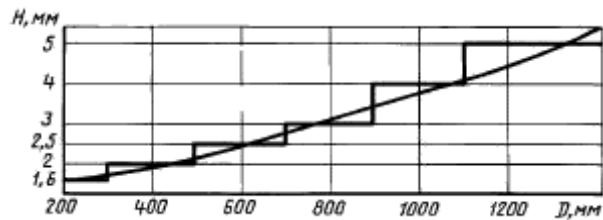


Рис. 3. Залежність висоти шрифту шкали від віддалі зчитування показів.

При розрахунку висоти шрифту зручно користуватись апроксимуючою залежністю (1).

$$H = 0,003 \cdot D + 2,0 \quad (1)$$

$H$  – висота шрифту, мм;

$D$  – віддаль зчитування показів, мм.

Довжину поділки шкали, число поділок і числових відміток шкали, а також різновид відміток шкали (А, В, С) слід встановлювати, виходячи з функціонального призначення приладу, діапазону вимірювань, вимог до точності, а також композиції шкали.

Допускається залежно від функціонального призначення приладу або зовнішніх умов діяльності оператора виділяти окремі елементи, що описують шкалу, яскравим кольором (зеленим, жовтим, червоним та ін.). При цьому, як правило, жовтим кольором виділяють вихід вимірюваного параметра за межі, а червоним кольором – його аварійне значення. Кількість кодових кольорів, що містяться на циферблаті, повинно бути не більше чотирьох.

Ділянка шкали діапазону вимірювань, обмеженого у порівнянні з діапазоном показів, повинен бути виділений суцільною лінією, що з'єднує кінці відміток шкали цього діапазону, або точками, які розташовані біля відміток шкали початку і кінця цього діапазону (рис.4).

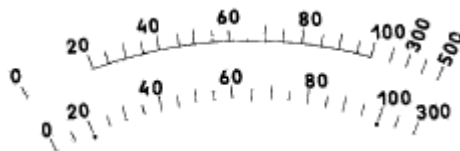


Рис. 4. Позначення діапазону вимірювання.

На рис. 4 - товщина лінії -  $a/3$ , точки -  $a$  (з рис. 1).

Шкала повинна містити не менше трьох чисел відліку. Числа відліку повинні складатися не більше ніж з

трьох цифр, за винятком кінцевого значення шкали. Числа відліку з великим числом цифр повинні бути скорочені шляхом застосування десяткових кратних і часткових найменувань одиниць фізичних величин, або з використанням коефіцієнта  $10^n$  ( $n$  - будь-яке ціле додатне або від'ємне число), що наноситься перед або за позначенням одиниці вимірюваної величини, а при обмеженні місця - у видимій частині шкали. Між коефіцієнтом і позначенням одиниці вимірюваної величини слід ставити знак множення.

Числа відліку слід наносити біля відміток А. Числа відліку на початку і кінці діапазону вимірювання можуть бути за розміром шрифту менші проміжних. Допускається біля деяких відміток А шкали, але не більше ніж біля двох, наступних за числовий відміткою, не задавати числа відліку, при цьому інтервал між двома суміжними цифрами по всій шкалі повинен бути не менше півторакратної ширини цифри (рис. 5а).

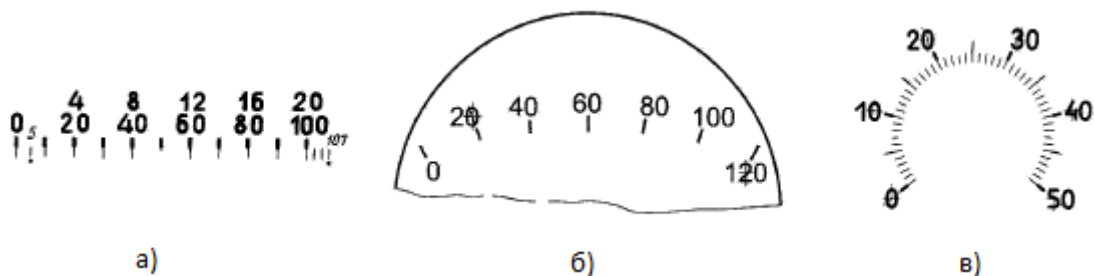


Рис. 5. Розташування числових відміток на різних типах шкал.

На кругових і секторних шкалах осі цифр чиста відліку повинні бути вертикальними в площині циферблата, причому продовження осі позначки повинно перетинати центральну точку крайньої цифри чиста відліку, крім горизонтальної та вертикальної осей циферблата, для яких числа слід розташовувати симетрично осі відміток шкали (рис. 5б і 5в). При обмеженій площі циферблата на секторних шкалах числа відліку крайніх відміток допускається розташовувати не на одному рівні з іншими числами відліку цієї шкали, причому продовження осі крайніх відміток може перетинати центральну точку числа відліку (рис. 5б). На прямолінійних шкалах числа відліку розташовують вертикально в площині циферблата і симетрично осі відміток (рис. 5а).

Виходячи з вищесказаного можливо сформуванати перелік параметрів, якими задається зовнішній вигляд та функціонування шкали віртуального вимірювального приладу :

- значення, яке стрілкою на шалі - Value ;
- тип шкали (лінійна, кругова) - ScaleType ;
- відстань зчитування показів, мм – ReadDistance;
- кут розгортання шкали, ° – ScaleSweepAngle;
- кут нахилу осі симетрії шкали, ° – ScaleAngle;
- початкове значення шкали – MinValue;
- кінцеве значення шкали – MaxValue;
- множник значення шкали – ValueKoef;
- початкове значення діапазону вимірювання – MinMesValue;
- кінцеве значення діапазону вимірювання – MaxMesValue;
- значення виходу параметра за межі вимірювання – AlarmValue;
- значення виходу параметра в зону аварії – ErrorValue;
- ширина інформаційної стрічки шкали – ErrorAlarmWidch;
- колір фону шкали – ScaleBeckColor;
- колір відміток шкали – ScaleColor;
- вигляд стрілки – ArrowStyle;
- колір стрілки – ArrowColor;
- назва вимірюваного параметру – ValueName;
- одиниці вимірювання – ValueUnits.

Алгоритм побудови шкали складається з наступних кроків розрахунку та виведення на екран:

- фону шкали;
- відміток шкали;
- числових відміток шкали;
- діапазону вимірювання;
- областей виходу значення вимірюваної величини за межі;
- одиниць вимірювання та назви вимірюваного параметра.
- стрілки, положення якої відповідає значенню вимірюваної величини;

Для побудови зображення шкали віртуального вимірювального приладу розраховується масштабуючий коефіцієнт, який задає співвідношення всіх графічних елементів. Цей коефіцієнт (*Radius*) рівний меншому значенню з половини висоти або ширини області виведення візуального компонента.

**Фон шкали** займає повністю область проєктованого віджета. За змовчуванням – фон градієнтний, для лінійних шкал – *LinearGradient*, для кругових – *ConicalGradient*. Користувач має можливість змінити колір фону шкали, задавши параметр *ScaleBeckColor*, для візуального об'єднання кількох шкал в групу, при побудові інтерфейсів користувача складних вимірювальних систем.

**Відмітки шкали** зручно виводити в циклі, повертаючи, поступово, систему координат відносно центра шкали на кут, який відповідає куту між відмітками шкали. Крок підписів основних відміток шкали *textStep* вибирається з ряду 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 в залежності від різниці мінімального і максимального значення діапазону шкали так, щоб на шкалі відображалось від 3 до 13 текстових відміток.

Кількість відміток *i*, відповідно, кут між ними розраховуються за формулами (2).

$$n = (MaxValue - MinValue) * 10 / textStep \quad (2)$$

$$lineAngle = ScaleSweepAngle / n;$$

Перед виведенням першої риски, та після виведення останньої система координат повертається на кут (3)

$$BeforeAngle = ScaleAngle - ScaleSweepAngle / 2 \quad (3)$$

$$AfterAngle = 360 - ScaleSweepAngle - lineAngle$$

Висота основних і допоміжних рисок становить, відповідно,  $2H/3$  та  $H/2$  (рис. 2). Товщина -  $H/12$ , колір відміток шкали – *ScaleColor*.

Відображення **діапазону вимірювання** реалізовано за допомогою дуги, радіусом  $R * 1.03$ . Кут початку та розгортання дуги вираховується за формулами (4)

$$startAngle = ScaleSweepAngle * MinMesValue / (MaxValue - MinValue) + ScaleAngle; \quad (4)$$

$$sweepLength = ScaleSweepAngle * (MaxMesValue - MinMesValue) / (MaxValue - MinValue);$$

Колір дуги такий самий, як колір відміток шкали – *ScaleColor*. Ширина дуг вибирається в залежності від висоти шрифту і вираховується за формулою  $width = H/12$  (рис. 2).

Інформаційні **області виходу значення вимірюваної величини за межі** будуються функцією *drawPath()*, де *path* складається з двох дуг, які обмежують інформаційну область. Межі зон «норма», «застереження», «аварія», формуються встановленням параметрів градієнтного фону типу *ConicalGradient* цієї області. Параметри елементів визначаються співвідношеннями (5).

$$pR = Radius * 0.6;$$

$$mR = Radius * (0.6 - ErrorAlarmWidch / 100.0);$$

$$KAngle = (MaxValue - MinValue) * ScaleSweepAngle / 360;$$

$$GreenAngle = KAngle * (MaxValue - MinValue); \quad (5)$$

$$YellowAngle = KAngle * (MaxValue - AlarmValue);$$

$$RedAngle = KAngle * (MaxValue - ErrorValue);$$

Кут закінчення інформаційної області  $GradientAngle = ScaleAngle - ScaleSweepAngle/2$ ;

Колір фону для ділянок «норма», «застереження», «аварія», встановлюються, відповідно – зелений, жовтий, червоний.

Також на циферблаті шкали розміщуються **одиниці вимірювання**, назва вимірюваного параметра, та інформаційні повідомлення.

**Стрілка**, положення якої відповідає значенню вимірюваної величини, може бути кількох виглядів. Modern і Classic, що задається параметром ArrowStyle. Колір стрілки задається параметром ArrowColor. При виборі стилю Classic стрілка зображується у вигляді тонкої лінії, а в стилі Modern – полігоном, який забезпечує потовщення стрілки, для полегшення проведення відліку. Виведення стрілки також зручно реалізувати за допомогою повороту системи координат. Кут повороту залежить від значення вимірюваної величини і вираховується за формулою (6)

$$(Val - minMinVal) * lineAngle * 10 / textStep - (ScaleAngle + ScaleSweepAngle / 2) \quad (6)$$

Якщо значення вимірюваної величини виходить за межі вимірювання, то стрілка встановлюється, відповідно, у мінімальне або максимальне положення, і виводиться інформаційне повідомлення.

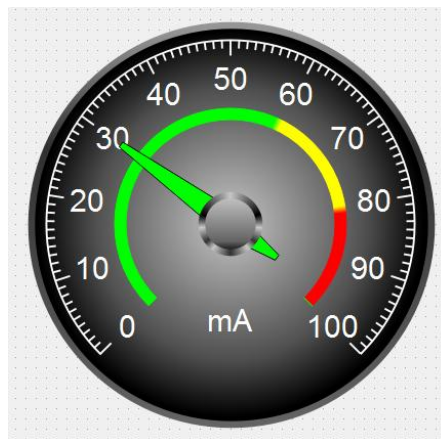


Рис. 6. Приклад реалізації шкали.

Використовуючи викладені рекомендації та розрахунки створено віджет відлікового пристрою віртуального вимірювально приладу в середовищі багатоплатформенної системи програмування Qt Creator (рис.6).

**Висновки.** В роботі проведено аналіз і узагальнення характеристик відлікових пристроїв засобів вимірювальної техніки, на основі якого розроблено методику розрахунку параметрів та алгоритм реалізації універсальних засобів відображення для віртуальних вимірювальних приладів. Результати роботи використано при створенні віджета для системи автоматизованого програмування Qt. Ці ж алгоритми можуть бути використані і при створенні віртуальних вимірювальних приладів в інших системах програмування.

1. ДСТУ 2681-94 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологія. Терміни та визначення. 2. ГОСТ 5365-83 Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования. 3. ГОСТ 25741-83 Циферблаты и шкалы манометрических термометров. Технические требования и маркировка. 4. Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, Б.І. Стадник, О.В. Івахів, Т.Г. Бойко, А. Ковальчик: Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. Львів: «Бескид Біт» - 2008. 5. М.М. Дорожовець, В.П.Мотало, Б.І. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик: Основи метрології та вимірювальної техніки. Львів: Видавництво НУ"Львівська політехніка" – 2005. 6. Шлее М. Qt 4.8 Профессиональное программирование на C++ - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 7. Бланишет Ж., Саммерфилд М. Qt 4: программирование GUI на C++. Пер. с англ. 2-е изд., доп. - М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008.