



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۳۱۷

چاپ اول



دارای محتوای رنگی

INSO

20317

1st.Edition

2016

اندازه‌گیری شارش شاره در مجاری بسته -
کنتورهای فراصوت زمان عبور برای مایعات

**Measurement of fluid flow in closed
conduits- Ultrasonic transit-time meters
for liquid**

ICS: 17.120.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« اندازه‌گیری شارش شماره در مجاری بسته – کنترلهای فراصوت زمان عبور برای مایعات »

رئیس:

ولی‌پور، محمد صادق
(دکتری مهندسی مکانیک)

سمت و/یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

دبیر:

حیدریان، مجید
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد استان سمنان

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

امیریان، خدیجه
(کارشناسی مهندسی متالوژی)

شرکت فراسنج

بهروزفر، قاسم
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

اداره کل استاندارد استان سمنان

توسلی، محمدحسن
(کارشناسی مهندسی صنایع)

شرکت ایران انشعاب

جوکار، جوانشیر
(کارشناسی ارشد مهندسی برق)

شرکت کنترسازای ایران

خدام عباسی، روح‌ا...
(کارشناسی فیزیک)

اداره کل استاندارد استان سمنان

خرمی، حامد
(کارشناسی مهندسی متالوژی)

شرکت ایران انشعاب

دولتیان، مصطفی
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

شرکت نفت منطقه شاهرود

رضایی عراقی، مهدی
(دکترای DBA)

شرکت آب بان

شرکت آب و فاضلاب شهری استان سمنان

رستمیان، هادی
(کارشناسی ارشد آب و فاضلاب)

شرکت نفت منطقه شاهرود

فیروزبخت، امین
(کارشناسی مهندسی شیمی)

شرکت آبفر

گروسی، رجب
(کارشناسی مدیریت صنعتی)

شرکت آب و فاضلاب روستایی استان سمنان

نورایی، افشین
(کارشناسی مهندسی مکانیک)

شرکت نفت منطقه شاهرود

نوروزی، محمد
(کارشناسی مهندسی شیمی)

مرکز ملی اندازه‌شناسی سازمان ملی
استاندارد ایران

هاشمی عراقی، محمدرضا
(کارشناسی فیزیک کاربردی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ح	پیش گفتار
۱	مقدمه
۲	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۳	۱-۳ کمیت‌ها
۴	۲-۳ طراحی کنتور
۵	۳-۳ شرایط ترمودینامیکی
۶	۴-۳ آمار
۸	۵-۳ کالیبراسیون
۹	۶-۳ نمادها و زیرنویس‌ها
۱۰	۷-۳ اصطلاحات خلاصه
۱۱	۴ اصول اندازه‌گیری
۱۱	۱-۴ شرح
۱۳	۲-۴ شارش حجمی
۱۴	۳-۴ شرح کلی
۱۶	۴-۴ ملاحظات تاخیر زمانی
۱۹	۵-۴ ملاحظات شکست
۲۰	۶-۴ عدد رینولدز
۲۱	۷-۴ تصحیح دما و فشار
۲۱	۵ الزامات عملکرد
۲۲	۶ عدم قطعیت در اندازه‌گیری
۲۲	۱-۶ مقدمه
۲۳	۲-۶ ارزیابی مولفه‌های عدم قطعیت

۲۶	نصب	۷
۲۶	کلیات	۱-۷
۲۶	استفاده از پروور	۲-۷
۲۶	کالیبراسیون در آزمایشگاه یا استفاده از یک روش اجرایی پیش‌بینی تئوری	۳-۷
۳۰	اثرات نصب اضافی	۴-۷
۳۱	آزمون و کالیبراسیون	۸
۳۱	کلیات	۱-۸
۳۱	آزمون منفرد - استفاده از روش اجرایی پیش‌بینی تئوری	۲-۸
۳۲	آزمون منفرد - کالیبراسیون شارش تحت شرایط شارش	۳-۸
۳۵	آزمایش عملکرد	۹
۳۵	مقدمه	۱-۹
۳۶	تکرارپذیری و تجدیدپذیری	۲-۹
۳۷	آزمون‌های اضافی برای کنتورهای با ترانس‌دیوسر سوار شده بیرونی	۳-۹
۳۷	تعیین عدم قطعیت کنتوری که عملکرد آن با استفاده از روش اجرایی پیش‌بینی تئوری پیش‌بینی می‌شود	۴-۹
۳۷	شرایط نصب از لحاظ مکانیک سیالات	۵-۹
۳۹	شبیه‌سازی نقص مسیر و تعویض اجزا	۶-۹
۳۹	مشخصه‌های کنتور	۱۰
۴۰	بدنه، مواد و ساختار کنتور	۱-۱۰
۴۱	ترانس‌دیوسرها	۲-۱۰
۴۲	الکترونیک‌ها	۳-۱۰
۴۳	نرم افزار	۴-۱۰
۴۵	تعویض اجزا	۵-۱۰
۴۵	تعیین چگالی و دما	۶-۱۰
۴۶	شیوه عملیاتی	۱۱
۴۶	کلیات	۱-۱۱
۴۶	فرآیند ممیزی	۲-۱۱
۴۸	عیب‌یابی‌های عملیاتی	۳-۱۱
۵۱	تسلسل ممیزی طی عملیات، مقایسه داخلی و بازرسی	۴-۱۱

۵۳	۵-۱۱ کالیبراسیون مجدد
۵۹	پیوست الف (الزامی) تصحیح دما و فشار
۶۷	پیوست ب (اطلاعاتی) تاثیر تغییر زبری
۷۲	پیوست پ (اطلاعاتی) مثالی از محاسبات عدم قطعیت
۸۷	پیوست ت (اطلاعاتی) اسناد
۸۹	پیوست ث (اطلاعاتی) کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد «اندازه‌گیری شارش شماره در مجاری بسته – کنتورهای فراصوت زمان عبور برای مایعات» که پیش-نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در دویست و هفتاد و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اوزان و مقیاس‌ها و اندازه‌شناسی مورخ ۹۴/۱۲/۲۵ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 12242:2012, Measurement of fluid flow in closed conduits- Ultrasonic transit-time meters for liquid.

مقدمه

کنتورهای فراصوت (USMs)^۱، یکی از فناوری‌های پذیرفته شده اندازه‌گیری شارش برای گستره وسیعی از جمله شامل اندازه‌گیری انتقالی که مبنای مالی^۲ دارد و همچنین اندازه‌گیری اختصاصی جهت مایع کاربرد دارد. فناوری فراصوت دارای مشخصه‌های ذاتی مانند عدم افت فشار و دامنه گسترده آن است. کنتورهای فراصوت، می‌توانند اطلاعات عیب‌یابی را تحویل دهند که از طریق آن ثابت می‌شود کنتور شارشی مایع فراصوت در حال فعالیت، مطابق با ویژگی‌ها است. با توجه به ظرفیت‌های عیب‌یابی توسعه داده شده، این استاندارد ملی از اضافه کردن و به کارگیری عیب‌یابی‌های خودکار به جای بررسی‌های کیفی مفرط نیروی انسانی دفاع می‌کند. استفاده از عیب‌یابی خودکار، ایجاد سیستم نگه‌داری مبتنی بر شرایط را ممکن می‌سازد.

1- Ultrasonic meters
2-Custody - transfer

اندازه‌گیری شارش شاره در مجاری بسته – کنتورهای فراصوت زمان عبور برای مایعات

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات و توصیه‌هایی برای کنتورهای شارش مایع فراصوت که از زمان عبور^۱ سیگنال‌های فراصوت برای اندازه‌گیری شارش مایعات همگن تک‌فاز^۲ در مجاری بسته استفاده می‌کنند، است.

هیچ محدودیتی برای حداقل یا حداکثر اندازه‌های کنتور وجود ندارد.

این استاندارد ملی مشخصه‌های عملکرد، کالیبراسیون و خروجی کنتورهای فراصوت را برای اندازه‌گیری شارش مایع با توجه به شرایط نصب تعیین می‌کند. همچنین نصب با و بدون سیستم اختصاصی پرووینگ^۳ (کالیبراسیون) و هم ترانسدیوسرهای درخط^۴ و گیره‌ای^۵ (استفاده شده در چیدمان‌هایی که در آن پرتو با شکست^۶ یا بدون شکست است) را نیز پوشش می‌دهد کنتورهای یکی شده با بدنه‌های کنتور و هم کنتورهای با ترانسدیوسر سوار شده در عملیات میدانی^۷ را نیز شامل می‌شود.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 4006, Measurement of fluid flow in closed conduits – Vocabulary and symbols .

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

به استاندارد بند ۲-۱ مراجعه شود.

-
- 1- Transit- time
 - 2- Single- phase
 - 3-Proving
 - 4- In-line
 - 5- Clamp-on
 - 6- Refracted
 - 7- Field- mounted transducers

۱-۳ کمیت‌ها

۱-۱-۳

آهنگ شارش حجمی، q_v

$$q_v = \frac{dv}{dt}$$

که در آن:

v حجم و

t زمان است.

یادآوری - منبع [۴].

۲-۱-۳

فشار سنجش^۱

فشار مطلق شاره^۲ در یک کنتور تحت شرایط شارش که در آن حجم نشان داده شده از مایع به آن مربوط است.

۳-۱-۳

سرعت میانگین^۳ در بدنه کنتور، v

آهنگ شارش شاره تقسیم بر سطح مقطع عرضی^۴ بدنه کنتور

۴-۱-۳

سرعت میانگین در لوله، v_p

آهنگ شارش شاره تقسیم بر سطح مقطع عرضی لوله بالادست

یادآوری - جایی که کنتور قطر داخلی کاهش یافته دارد، سرعت‌های میانگین در لوله بالادست و در خود بدنه کنتور متفاوت است.

۵-۱-۳

سرعت مسیر

سرعت متوسط^۵ شاره در یک مسیر فراصوت

-
- 1- Metering pressure
 - 2- Fluid
 - 3-Mean velocity
 - 4- Cross- sectional area
 - 5- Average velocity

۳-۱-۶

عدد رینولدز

پارامتر بدون بعدی که نشان دهنده نسبت بین نیروهای اینرسی و گرانشی است.

۳-۱-۷

عدد رینولدز لوله، Re_D

پارامتر بدون بعدی که نشان دهنده نسبت بین نیروهای اینرسی و گرانشی در لوله است.

$$Re_D = \frac{\rho v_p D}{\mu} = \frac{v_p D}{\nu_{kv}}$$

که در آن:

ρ چگالی جرمی؛

v_p سرعت میانگین در لوله؛

D قطر داخلی لوله؛

μ گرانشی دینامیکی^۱؛

ν_{kv} گرانشی سینماتیکی^۲.

یادآوری- جایی که کنتور قطر داخلی کاهش یافته دارد، تعریف عدد رینولدز گلوگاه نیز امکان پذیر است که در تعریف آن از سرعت میانگین در بدنه کنتور، قطر داخلی کنتور و گرانشی سینماتیکی نیز استفاده می شود.

۳-۲ طراحی کنتور

۳-۲-۱

بدنه کنتور

ساختاری از کنتور که تحت فشار است.

۳-۲-۲

مسیر فراصوت

مسیری که توسط سیگنال فراصوت بین یک جفت ترانسدیوسر فراصوت طی شده است.

1- Dynamic viscosity
2- Kinematic viscosity

۳-۲-۳

مسیر محوری^۱

مسیری که توسط سیگنال فراصوت روی محور لوله یا موازی با آن طی شده است.

۴-۲-۳

مسیر قطری^۲

مسیر فراصوتی که در آن سیگنال فراصوت خط مرکزی یا محور طولی لوله را قطع می کند.

۵-۲-۳

مسیر وتری^۳

مسیر فراصوتی که در آن سیگنال فراصوت به صورت موازی با مسیر قطری حرکت می کند.

۶-۲-۳

سوار شده در عملیات میدانی

خارج از لوله، در محل سایت، بعد از کالیبراسیون آزمایشگاهی قرار گرفته است.

۳-۳ شرایط ترمودینامیکی

۱-۳-۳

شرایط اندازه گیری

شرایط نقطه اندازه گیری، شاره ای که حجم آن اندازه گیری می شود.

یادآوری - همچنین به عنوان شرایط عملیاتی یا شرایط واقعی نیز شناخته می شود.

۲-۳-۳

شرایط استاندارد

شرایط دما و فشار تعریف شده و مورد استفاده، در اندازه گیری کمیت شاره به کار گرفته می شود، به طوری که اگر

در دما و فشار استاندارد باشد، مقدار حجم اشغال شده توسط شاره، حجم استاندارد است.

یادآوری ۱- شرایط استاندارد را می توان با مقررات یا قرارداد تعریف کرد.

یادآوری ۲- شرایط مرجع، شرایط مبنا، شرایط عادی و غیره، تقدم ندارند.

-
- 1- Axial path
 - 2- Diametrical path
 - 3- Chordal path

یادآوری ۳- شرایط اندازه‌گیری و استاندارد فقط به حجم مایعی که اندازه‌گیری یا نشان داده شود، وابسته است و نباید با شرایط عملیاتی اسمی یا شرایط مرجع اشتباه گرفته شود. [۴۴]

۳-۳-۳

شرایط خاص

شرایطی از شماره که در آن ویژگی‌های عملکردی کنتور ارائه شده است.

۴-۳ آمار

۱-۴-۳

خطا

مقدار کمیت اندازه‌گیری شده منهای مقدار کمیت منبع [۴۴]

۲-۴-۳

تکرار پذیری (از نتایج اندازه‌گیری‌ها)

نزدیکی توافقی میان نتایج اندازه‌گیری‌های پیاپی که تحت شرایط یکسان اندازه‌گیری، روی اندازه‌ده یکسان انجام می‌شود.

یادآوری ۱- این شرایط، شرایط تکرارپذیری نامیده می‌شود.

یادآوری ۲- شرایط تکرارپذیری شامل موارد زیر است:

- روش اجرایی اندازه‌گیری یکسان؛

- ناظر یکسان؛

- دستگاه اندازه‌گیری یکسان، استفاده شده در شرایط یکسان؛

- مکان یکسان؛

- تکرار بیش از یک دوره زمانی کوتاه.

یادآوری ۳- تکرارپذیری را می‌توان به لحاظ کمی به عنوان مشخصه‌های پراکندگی نتایج بیان کرد. منبع [۴۳]

۳-۴-۳

تجدید پذیری^۱ (از نتایج اندازه‌گیری)

نزدیکی توافقی میان نتایج اندازه‌گیری‌هایی که تحت شرایط تغییر یافته، اندازه‌گیری روی اندازه‌ده یکسان انجام می‌شود.

یادآوری ۱- بیان معتبر تجدیدپذیری، نیازمند تعیین شرایط تغییر یافته است.

یادآوری ۲- شرایط تغییر یافته شامل این موارد است:

- اصل اندازه‌گیری؛
- روش اندازه‌گیری؛
- ناظر؛
- دستگاه اندازه‌گیری؛
- استاندارد مرجع؛
- مکان؛
- شرایط استفاده؛
- زمان.

یادآوری ۳- تجدیدپذیری را می‌توان به طریق کمی به اصطلاح مشخصه‌های پراکندگی نتایج بیان کرد.

یادآوری ۴- نتایج در این بخش معمولا به مفهوم نتایج اصلاح شده است. منبع [۴۳]

۴-۴-۳

تفکیک پذیری^۱

کوچک‌ترین اختلاف بین نشاندهی‌های یک کنتور که تمایز معنی‌داری دارند.

۵-۴-۳

قرائت شارش صفر

قرائت شارش کنتور وقتی مایع در حال سکون است، یعنی مولفه‌های سرعت محوری و هم غیرمحوری لزوما صفر هستند.

۶-۴-۳

خطی کردن

روشی جهت کاهش غیرخطی بودن کنتور فراصوت، به وسیله کاربرد عامل‌های تصحیح یادآوری- خطی‌سازی را می‌توان در الکترونیک کنتور یا محاسبه‌کننده شارش متصل به کنتور فراصوت به‌کار برد. مثلا تصحیح می‌تواند خطی‌سازی قطعه‌ای یا چندجمله‌ای باشد.

۷-۴-۳

عدم قطعیت (اندازه‌گیری)

پارامتری مربوط به نتیجه اندازه‌گیری که پراکندگی مقادیری که می‌توان به‌طور منطقی به اندازه‌ده نسبت داد را مشخص می‌کند.

یادآوری ۱- به‌طور مثال این پارامتر می‌تواند یک انحراف استاندارد (یا مضربی از آن) یا نیم عرض از بازه‌ای که یک سطح اطمینان را بیان می‌کند، باشد.

یادآوری ۲- عدم قطعیت اندازه‌گیری در کل شامل مولفه‌های بسیاری است. برخی از این مولفه‌ها را می‌توان از توزیع آماری نتایج مجموعه اندازه‌گیری‌ها، ارزیابی و با انحرافات استاندارد آزمایشی مشخص کرد. سایر مولفه‌هایی که می‌تواند با انحرافات استاندارد مشخص شود، از احتمال فرضی توزیع مبتنی بر تجربه یا سایر اطلاعات، ارزیابی می‌شوند.

یادآوری ۳- مشخص است که نتیجه اندازه‌گیری، بهترین تخمین از مقدار اندازه‌ده است و همه مولفه‌های عدم قطعیت، شامل موارد ناشی از تاثیرات سیستماتیک، مانند مولفه‌های مرتبط با تصحیح‌ها و استانداردهای مرجع، در پراکندگی سهمیم هستند. منبع [۴۳]

۸-۴-۳

عدم قطعیت استاندارد، u

عدم قطعیت نتیجه یک اندازه‌گیری به صورت یک انحراف استاندارد بیان می‌شود. منبع [۴۳]

۹-۴-۳

عدم قطعیت گسترده، U

کمیتی که تعریف می‌شود، بازه‌ای پیرامون نتایج اندازه‌گیری که ممکن است انتظار رود که شامل کسر بزرگی از مقادیر پراکندگی که می‌تواند به طور منطقی به اندازه‌ده نسبت داده شود. منبع [۴۳]

یادآوری ۱- کسر بزرگ معمولاً ۹۵٪ و همراه با عامل پوششی $k=2$ است.

یادآوری ۲- عدم قطعیت گسترده اغلب به عنوان عدم قطعیت نامیده می‌شود.

۱۰-۴-۳

عامل پوششی

یک عامل عددی که به عنوان ضریب در عدم قطعیت استاندارد برای به دست آوردن عدم قطعیت گسترده به کار می‌رود. منبع [۴۳]

۵-۳ کالیبراسیون

۱-۵-۳

کالیبراسیون شارش

کالیبراسیونی که در آن شاره که از میان کنتور شارش دارد.

۲-۵-۳

روش اجرایی^۱ پیش‌بینی تئوری

روش اجرایی عملکرد کنتور به صورت تئوری، بدون شارش مایع که در کنتور پیش‌بینی می‌شود.

۳-۵-۳

آزمودن عملکرد^۱

آزمودن یک نمونه نماینده از کنتورها برای تعیین، به عنوان مثال، تجدیدپذیری و الزامات نصب کنتورهایی که از نظر هندسی^۲ مشابه هستند.

۳-۶ نمادها و زیرنویسها

نمادها و زیرنویسهای استفاده شده در این استاندارد در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- نمادها

واحد متریک	ابعاد	نماد	کمیت
m ²	L ²	<i>A</i>	سطح مقطع عرضی بدنه کنتور
m/s	LT ⁻¹	<i>C</i>	سرعت صوت در شاره
m	L	<i>d</i>	قطر داخلی بدنه کنتور
m	L	<i>D</i>	قطر داخلی لوله
Pa	ML ⁻¹ T ⁻²	<i>E</i>	مدول یانگ
۱	-	<i>f</i>	تابع سرعتهای مسیر
۱	-	<i>i, j, n</i>	عدد صحیح (۱، ۲، ۳، ...)
۱	-	<i>K</i>	عامل کالیبراسیون
۱	-	<i>K_E</i>	عامل تصحیح انتهای بدنه
m/s ^ν یا m ^ν	LT ^{-1ν} یا L ^ν	<i>K_g</i>	عامل هندسی مسیر
۱	-	<i>K_p</i>	عامل تصحیح پروفایل سرعت
۱	-	<i>K_s</i>	عامل تصحیح حالت بدنه
m	L	<i>l_{min}</i>	حداقل فاصله با یک اختلال شارش بالادست مشخص
m	L	<i>l_p</i>	طول مسیر
Pa	ML ⁻¹ T ⁻²	<i>P</i>	فشار مطلق
m ³ /s	L ³ T ⁻¹	<i>q_v</i>	آهنگ شارش حجمی
m	L	<i>R</i>	شعاع داخلی لوله
m	L	<i>R</i>	شعاع خارجی لوله
۱	-	<i>Re_d</i>	عدد رینولدز گلوگاه
۱	-	<i>Re_D</i>	عدد رینولدز لوله
۱	-	<i>S</i>	درصد حداکثر انحراف در آهنگ شارش اندازه گیری شده ناشی از اتصالات بالادست
K	Θ	<i>T</i>	دمای مطلق مایع
s	T	<i>T</i>	زمان انتقال

1- Performance testing
2- Geometrically

جدول ۱- ادامه

واحد متریک	ابعاد	نماد	کمیت
s	T	t_0	تاخیر زمانی
m/s	LT^{-1}	v	سرعت متوسط محوری شاره در بدنه کنتور
m/s	LT^{-1}	v_i	سرعت متوسط محوری شاره در مسیر فراصوت، i
m/s	LT^{-1}	v_p	سرعت متوسط محوری شاره در لوله بالادست
m	L	X	فاصله محوری ترانسدیوسر
K^{-1}	Θ^{-1}	α	ضریب انبساط دمایی
m	L	δ	ضخامت دیواره لوله
Pa s	$ML^{-1}T^{-1}$	μ	گرانروی دینامیکی
m^2/s	L^2T^{-1}	ν_{kv}	گرانروی سینماتیکی
Kg/m^3	ML^{-3}	ρ	چگالی مایع
l	-	σ	نسبت پواسون
rad	-	ϕ	زاویه بین مسیر فراصوت و محور لوله
الف Θ = دما، T = زمان، L = طول، M = جرم ب چیدمان بدون شکست پ چیدمان با شکست			

جدول ۲- زیر نویس

مفهوم	زیر نویس
تحت شرایط کالیبراسیون	Cal
اندازه گیری شده (تصحیح نشده)	Meas
تحت شرایط عملیاتی	Op
واقعی (تصحیح شده)	True

۷-۳ اصطلاحات خلاصه

کنترل بهره ^۱ خودکار	AGC
آزمون پذیرش کارخانه	FAT
سرعت صوت اندازه گیری شده	MSOS
نسبت سیگنال به نوفه ^۲	SNR
سرعت صوت	SOS
سرعت صوت مرجع	RSOS
کنتور فراصوت	USM

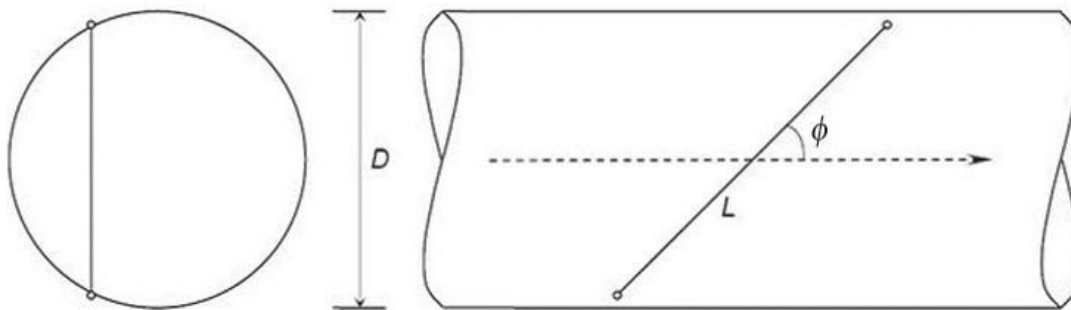
1- Gain
2- Noise

۴ اصول اندازه‌گیری

۴-۱ شرح

کنتور زمان عبور فراصوت، وسیله نمونه‌گیری است که سرعت‌های مسیر گسسته را با استفاده از یک یا چند جفت ترانسدیوسر اندازه‌گیری می‌کند. هر جفت ترانسدیوسر در فاصله معلوم l_p از یکدیگر قرار دارند که یکی بالادست دیگری است (شکل ۱). ترانسدیوسرهای بالادست و پایین دست، پالس‌های فراصوت را به تناوب ارسال و دریافت می‌کنند که انتقال خلاف انتشار نامیده می‌شود و زمان رسیدن در محاسبه سرعت محوری متوسط، v به کاربرده می‌شود. در هر لحظه تفاوت بین سرعت ظاهری صوت در مایع در حال حرکت و سرعت صوت در همان مایع در حالت سکون، مستقیماً متناسب با سرعت آنی مایع است. در نتیجه، اندازه‌گیری سرعت محوری متوسط مایع در یک مسیر را می‌توان با انتقال سیگنال فراصوت در طول مسیر در جهت‌ها و هم در اندازه‌گیری تفاوت زمان انتقال، به‌دست آورد.

آهنگ شارش حجمی مایع در حال حرکت در یک مجاری بسته کاملاً پر، به صورت سرعت متوسط مایع در مقطع عرضی، ضرب در سطح مقطع عرضی تعیین می‌شود. بنابراین، با اندازه‌گیری سرعت متوسط مایع در یک یا چند مسیر فراصوت (یعنی خطوط، نه مساحت) و ترکیب اندازه‌گیری‌ها با اطلاع از سطح مقطع عرضی و پروفایل سرعت در مقطع عرضی، می‌توان تخمینی از آهنگ شارش حجمی مایع در مجاری به‌دست آورد.



شکل ۱- اصل اندازه‌گیری

تکنیک‌های^۳ مختلفی را می‌توان برای به‌دست آوردن اندازه‌گیری از میانگین سرعت موثر انتشار سیگنال فراصوت در مایع در حال حرکت به منظور تعیین سرعت محوری متوسط در طول مسیر فراصوت به کار برد. اما، تکنیک معمولی به کار رفته در کنتورهای فراصوت جدید، تکنیک تفاضلی زمان مستقیم است.

1- package
2- Thermowell
3- Techniques

مبنای این تکنیک، اندازه‌گیری زمان عبور سیگنال‌های فراصوت که بین یک فرستنده و گیرنده منتشر می‌شود، است.

سرعت انتشار سیگنال فراصوت، مجموع سرعت صوت c و سرعت شارش در جهت انتشار است. بنابراین، زمان عبور بالادست و پایین‌دست را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$t_{fl_up/dn} \approx \int_{i=0}^{l_p} \frac{1}{c + v_i \cdot n} \cdot dl \quad (1)$$

که در آن:

c سرعت صوت در شاره؛
 n بردار نرمال واحد در موج رو به جلو؛
 v_i بردار سرعت شارش در محل l ، در مسیر l_p است.

یادآوری - فرستنده چه در بالادست یا پایین دست قرار داشته باشد، درست است. با این فرض که سرعت شارش، فقط در جهت محوری $c \gg v_i$ است که میانگین سرعت شارش محوری در خط مسیر فراصوت l است، بنابراین زمان عبور بالادست و پایین‌دست را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$= \frac{l_p}{c - v_i \cos \theta} t_{fl_up} \quad (2)$$

$$= \frac{l_p}{c + v_i \cos \theta} t_{fl_dn} \quad (3)$$

و با مرتب کردن و حل برای v_i داریم:

$$\frac{1}{t_{fl_dn}} - \frac{1}{t_{fl_up}} = \frac{t_{fl_up} - t_{fl_dn}}{t_{fl_up} t_{fl_dn}} = \frac{2v_i \cos \theta}{l_p} \quad (4)$$

$$= \frac{l_p}{2c \cos \theta} \frac{\Delta t}{t_{fl_up} t_{fl_dn}} v_i \quad (5)$$

که در آن :

l_p فاصله بین ترانسدیوسرها؛

Δt اختلاف زمان عبور؛

\emptyset زاویه انحراف سیگنال فراصوت با توجه به جهت محوری شارش است.

سرعت صوت را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\frac{1}{t_{fl_dn}} + \frac{1}{t_{fl_up}} = \frac{t_{fl_up} + t_{fl_dn}}{t_{fl_up} t_{fl_dn}} = \frac{2c}{l_p} \quad (6)$$

$$c = \frac{l_p}{2} \frac{(t_{fl_up} + t_{fl_dn})}{t_{fl_up} t_{fl_dn}} \quad (7)$$

۲-۴ شارش حجمی

اندازه‌گیری‌های سرعت در مسیر منفرد^۱ با تابع ریاضی ترکیب می‌شود تا تخمینی از سرعت میانگین در بدنه کنتور به دست آید:

$$= f(v_1, \dots, v_n) \quad v \quad (8)$$

که در آن، n تعداد کل مسیرها است.

بسته به تغییرات در چیدمان مسیر و رویکردهای اختصاصی مختلف در حل فرمول ۸، حتی برای تعداد مسیر داده شده، فرم درست $f(v_1, \dots, v_n)$ می‌تواند تغییر کند.

رابطه بین سرعت میانگین در لوله و سرعت‌های مسیر اندازه‌گیری شده، وابسته به پروفایل شارش است. در شارش توسعه یافته، پروفایل شارش صرفاً وابسته به عدد رینولدز و زبری لوله است.

در یک راه حل احتمالی برای محاسبه سرعت میانگین، جمع وزنی سرعت‌های مسیر و به‌کارگیری عامل پروفایل سرعت K_p برای جبران تغییرات پروفایل است و محاسبه می‌شود. مقدار K_p به وسیله الگوریتمی که آن برگرفته از طرز شمارش شارش (آرام، انتقالی و متلاطم) و سایر متغیرهای فرایند، در صورتی که نیاز باشد، محاسبه می‌شود:

$$v = K_p \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (9)$$

آهنگ شارش حجمی q_v به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q_v = A \cdot v \quad (10)$$

که در آن:

تخمین سرعت میانگین در لوله؛ v

سطح مقطع عرضی بخش اندازه‌گیری است. A

دقت کنید که با افزایش n ، عدم قطعیت مرتبط با تغییرات پروفایل شارش کاهش می‌یابد.

۳-۴ شرح کلی

۱-۳-۴ کلیات

این بند فرعی، شرح کلی کنتورهای فراصوت برای مایعات است. هدف، شناسایی اختلاف در طراحی‌های تجاری و پتانسیل برای توسعه‌های جدید است. برای این منظور توصیف کنتورهای فراصوت که شامل چندین مولفه‌های در نظر گرفته شده است، می‌باشد. به طور مثال:

الف- ترانسدیوسرها؛

ب- بدنه کنتور با چیدمان مسیر فراصوت؛

پ- پردازش داده الکترونیکی و واحد نمایش.

یادآوری- در کنتور با ترانسدیوسرهای سوار شده بیرونی، بدنه کنتور شامل لوله‌ای است که ترانسدیوسرها روی آن ثابت شده‌اند.

۲-۳-۴ ترانسدیوسرها

ترانسدیوسرها، گیرنده‌ها و فرستنده‌های سیگنال فراصوت هستند. آن‌ها می‌توانند به شکل‌های متنوعی تامین شوند. نمونه نوعی آنها شامل یک جزء پیزوالکتریک^۱ با اتصالات الکتروود و یک ساختار مکانیکی تکیه‌گاه است که با آن اتصال فرایند ایجاد می‌شود.

چیدمان نوعی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. برای اندازه‌گیری سرعت محوری، فرستنده‌های ترانسدیوسر امواج فراصوت را در زاویه غیرعمود بر روی محور بدنه کنتور در جهت ترانسدیوسر دوم یا نقطه بازتاب^۲ در بدنه داخلی کنتور می‌فرستند. دو روش برای سوار کردن ترانسدیوسر وجود دارد:

الف- خارج از مرز حایل فشار^۳؛

ب- داخل مرز حایل فشار؛

پرتوی کنتور فراصوت می‌تواند:

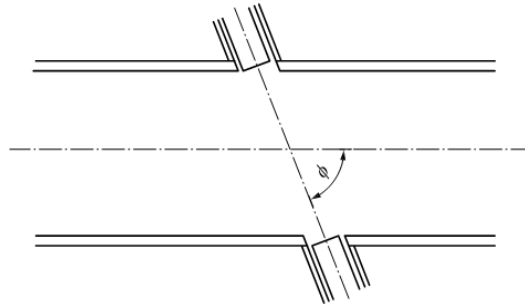
الف- شکست داشته باشد.

ب- بدون شکست باشد.

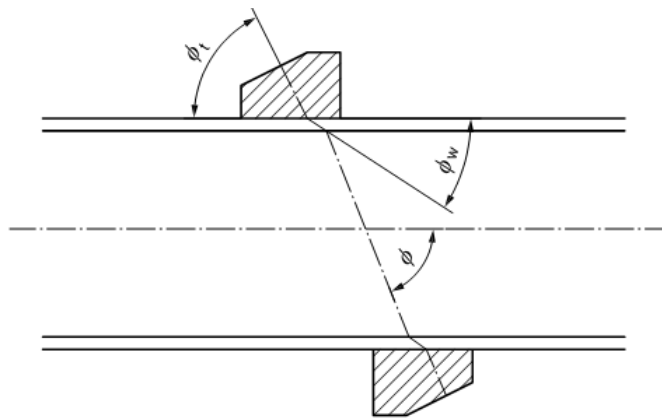
1-Piezoelectric

2-Reflection

3- Pressure-retaining



شکل ۲- چیدمان بدون شکست



شکل ۳- چیدمان دارای شکست که به صورت بیرونی سوار شده است

اگر ترانسدیوسرها بیرون مرز دیواره لوله باشند، پرتو همواره شکسته می‌شود، این چیدمان معمولاً سوار شدن گیره‌ای یا میدانی نامیده می‌شود. هندسه پرتوی دارای شکست تابعی از موارد دیگر از جمله سرعت صوت در مایع (و همچنین دما) است. هندسه پرتو، موقعیت بهینه ترانسدیوسر را مشخص می‌کند. اگر ترانسدیوسرها در موقعیت بهینه خود نباشند، عدم قطعیت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد. اگر ترانسدیوسرها درون مرز دیواره لوله باشند، این چیدمان در خط نامیده می‌شود، در این حالت پرتو همیشه بدون شکست است.

۳-۳-۴ بدنه کنتور و چیدمان‌های مسیر فراصوت

بدنه کنتور لزوماً لوله‌ای است که ترانسدیوسرها به آن متصل شده‌اند و دما و فشار بر سطح لوله تاثیر دارد (پیوست الف بند ۴-۷) در کنتور با قطر داخلی کاهش یافته^۱، سطح مقطع بخش اندازه‌گیری کوچکتر از مقطع لوله است.

کنتورهای فراصوت در چیدمان‌های با مسیر متنوع در دسترس هستند. تعداد مسیرهای اندازه‌گیری معمولاً بر اساس الزام با توجه به تغییرات در توزیع سرعت و درستی لازم انتخاب می‌شوند.

مانند تغییرات در موقعیت شعاعی مسیرهای اندازه‌گیری در مقطع عرضی، چیدمان مسیر می‌تواند در جهت محور لوله متنوع باشد. با استفاده از بازتاب موج فراصوت از درون بدنه کنتور یا از یک بازتابنده ساخته شده^۱، می‌تواند چندین بار مقطع عرضی را طی مسیر کند.

برخی انواع مسیر فراصوت در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. شکل ۴ مثال‌هایی از کنتورهای تک مسیره و شکل ۵ کنتورهای چندمسیره را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری‌های سرعت در مسیرهای چندگانه معمولاً نسبت به اندازه‌گیری در تک مسیره، حساسیت کمتری به تغییرات در پروفایل شارش دارند. حرکت‌های دوتایی^۲ در یک سطح تکی نسبت به مسیرهای با حرکت تکی حساسیت کمتری به اجزای سرعت غیرمحوری دارند. سایر چیدمان‌ها به طور مثال مسیر حرکت نیمه شعاعی سه‌تایی نسبت به اجزای غیرمحوری حساس هستند اما می‌توانند به صورت ترکیبی برای حذف یا کاهش تاثیرات چرخش یا شارش در عرض^۳ استفاده شوند. مسیرهای مستقیم می‌تواند تکی، دوتایی یا متقاطع باشند.

۴-۳-۴ اندازه‌گیری زمان

همه کنتورهای فراصوت، شامل بخش الکترونیکی هستند که سیگنال‌ها را تولید و دریافت کرده و اندازه‌گیری زمان را انجام می‌دهند.

۴-۴ ملاحظات تاخیر زمانی

در بخش ۴-۱، فرض شده که سیگنال فراصوت، همه زمان عبور را در شاره صرف می‌کند و جهت انتشار در زاویه ϕ نسبت به دیواره لوله است. در سیستم واقعی، زمان اندازه‌گیری شده بین سیگنال فراصوتی که فرستنده را ترک کرده و درگیرنده در حال دریافت شدن می‌باشد به دلیل مواد مداخله‌گر^۴، الکترونیک، پردازش سیگنال، طول کابل و غیره، شامل تاخیر زمانی t_0 است:

$$= t_{fl_up/dn} + t_0 t_{me_up/dn} \quad (11)$$

در اینجا فرض می‌شود که اختلاف بین زمان‌های تاخیر t_{0_up} و t_{0_dn} در مقایسه با زمان عبور $t_{me_up/dn}$ ناچیز است. هر اختلاف بین t_{0_dn} و t_{0_up} ، منتج به افسر^۵ می‌شود.

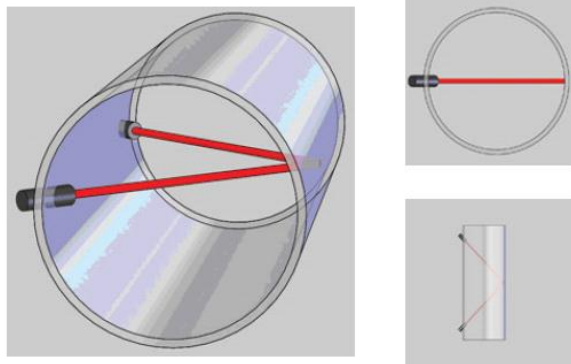
فرمول ۵ و ۷ تبدیل می‌شوند به:

$$v_i = \frac{l_p}{2\cos\phi} \frac{\Delta t}{(t_{me_up} - t_0)(t_{me_dn} - t_0)} \quad (12)$$

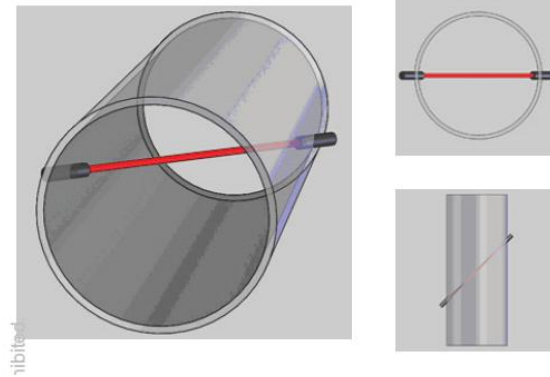
-
- 1-fabricated reflector
 - 2- Double traverses
 - 3- Cross- flow
 - 4- Intervening materials
 - 5- Zero offset

$$C = \frac{l_p}{2} \frac{(t_{me_up} + t_{me_dn} - 2t_0)}{(t_{me_up} - t_0)(t_{me_dn} - t_0)}$$

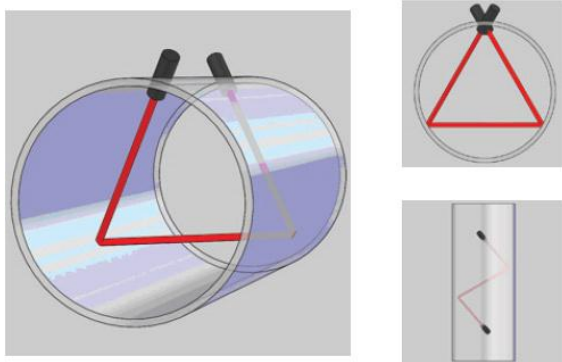
(۱۳)



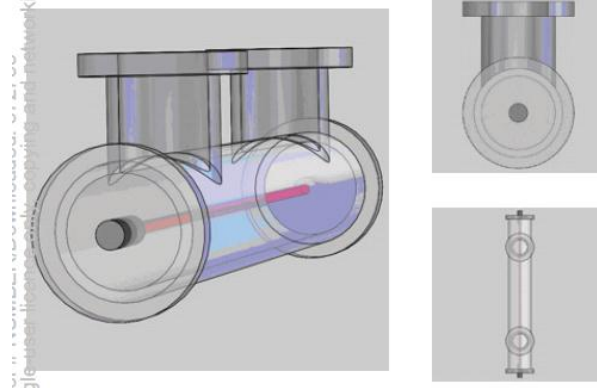
ب- مسیر قطری، بازتابیدن



الف- مسیر قطری

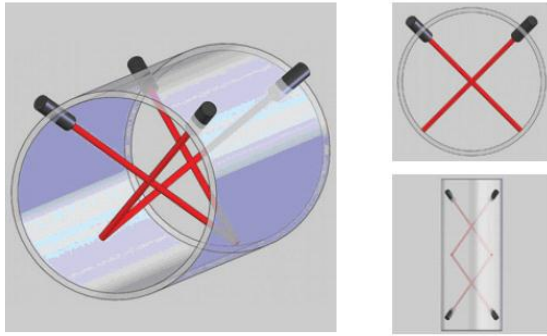


ت- مسیر بازتاب پیچیده

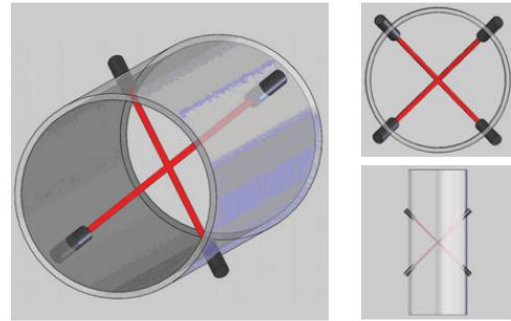


پ- مسیر محوری

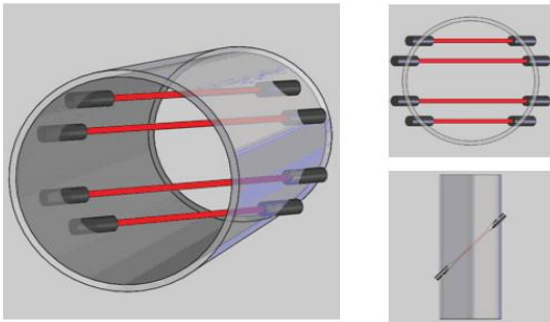
شکل ۴- انواع مسیرهای فراصوت برای کنتورهای تک مسیره



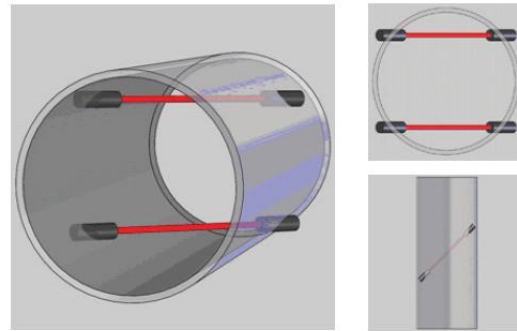
ب- چند مسیره قطری، بازتابیدن



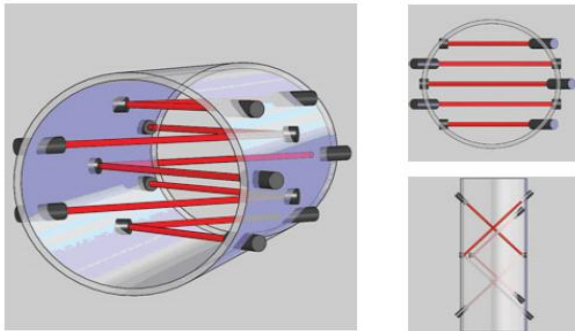
الف- چند مسیره قطری



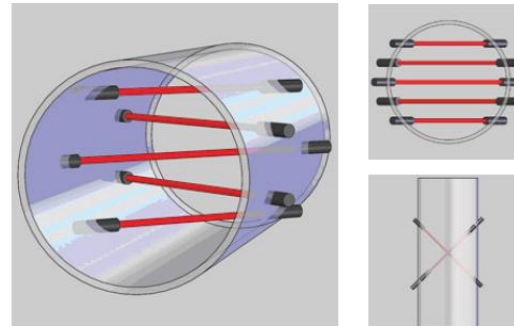
ت- چند مسیره وترى، سطحى



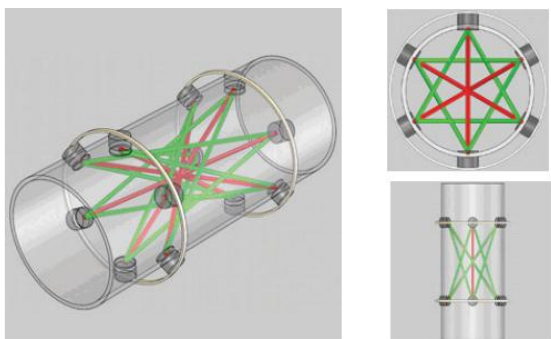
پ- چند مسیره وترى



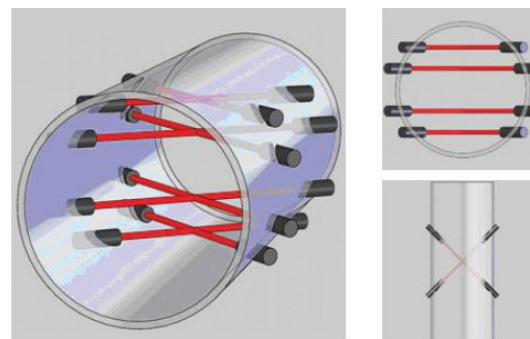
ج- چند مسیره وترى، وترى بازتابیده



ث- چند مسیره وترى، غير سطحى



ح- چند مسیره مرکب



چ- چند مسیره وترى، وترى متقاطع^۱

شکل ۵- انواع مسیره های فرا صوت برای کنتورهای چند مسیره

۵-۴ ملاحظات شکست

برای کنتورهای فراصوت که از چیدمان ترانسدیوسر سوار شده بیرونی استفاده می‌شود (شکل ۳)، جبران شکست به منظور فعالیت مناسب و درست ضروری است. وقتی یک موج صوتی از فصل مشترک بین دو ماده در زاویه‌های مایل^۱ عبور می‌کند و مواد مقاومت صوتی مختلفی دارند، هم موج‌های بازتاب و هم موج‌های شکسته شده تولید می‌شوند. شکست موج صوتی با عبور صوت از ترانسدیوسر به دیوار لوله، از دیوار لوله به پوشش لوله^۲ (اگر موجود باشد) و از لوله یا پوشش لوله به مایع انجام می‌شود. این موضوع به دلیل سرعت‌های مختلف امواج صوتی در این مواد است. با چیدمان ترانسدیوسر سوار شده بیرونی، فرمول ۵ معمولاً به شکل دیگری مرتب می‌شود که در این بند فرعی به دست آمده است.

با تعریف زوایا مطابق با شکل ۳، قانون اسنلس^۳ را می‌توان به شکل فرمول ۱۴ بیان کرد:

$$\frac{\cos\theta_t}{c_t} = \frac{\cos\theta_w}{c_w} = \frac{\cos\theta}{c} \quad (14)$$

که در آن:

c_t سرعت صوت در ترانسدیوسر گوه‌ای جفت شونده^۴؛
 c_w سرعت صوت در دیواره؛
 c سرعت صوت در مایع است.

در نتیجه ϕ و l_p در فرمول ۵ و ۱۲، توابع سرعت‌های صوت c_t ، c_w و c و بنابراین در کل توابع دما، فشار و ترکیب شاره فرآیند و مواد مداخله‌کننده می‌باشد. با استفاده از این فرض (قبلاً در بند ۴-۱ بیان شد) که این سرعت بسیار کمتر از سرعت صوت در شاره است، حاصل ضرب زمان‌های عبور اندازه‌گیری شده در بالادست و پایین دست تقریباً برابر با مربع زمان عبور t_{fl} در شاره بدون شارش است:

$$t_{fl_up} t_{fl_dn} = \left(t_{fl} + \frac{\Delta t}{2}\right) \left(t_{fl} - \frac{\Delta t}{2}\right) = t_{fl}^2 - \frac{\Delta t^2}{4} \approx t_{fl}^2 \quad (15)$$

از فرمول ۵ به دست می‌آید:

$$v_i = \frac{l_p}{2\cos\theta} \frac{\Delta t}{t_{fl}^2} \quad (16)$$

-
- 1-Oblique angles
 - 2-pipe lining
 - 3- Snells law
 - 4-Transducer coupling wedge

سرعت صوت در شاره را می‌توان جایگزین طول مسیر و زمان عبور در شاره کرد. بنابراین از فرمول ۱۴، سرعت صوت و زاویه در گوه جفت شونده، جایگزین سرعت صوت و زاویه در شاره می‌شوند:

$$v_i = \frac{l_p}{\cos\theta_t} \frac{\Delta t}{2t_{fl}} = \frac{c}{\cos\theta} \frac{\Delta t}{2t_{fl}} = \frac{c_t}{\cos\theta_t} \frac{\Delta t}{2t_{fl}} \quad (17)$$

مجموع زمان‌های عبور در بالادست و پایین دست اندازه‌گیری شده شاره، برابر با دو برابر زمان عبور در شاره است:

$$v_i = \frac{c_t}{\cos\theta_t} \frac{\Delta t}{t_{fl_up} + t_{fl_dn}} \quad (18)$$

مانند بخش ۴-۴، زمان‌های عبور t_{fl_up} و t_{fl_dn} در شاره، با زمان‌های عبور اندازه‌گیری شده t_{me_up} ، t_{me_dn} و زمان تاخیر t_0 جایگزین می‌شوند:

$$v_i = \frac{c_t}{\cos\theta_t} \frac{\Delta t}{(t_{me_up} + t_{me_dn} - 2t_0)} \quad (19)$$

بنابراین سرعت شارش اندازه‌گیری شده، مستقیماً وابسته به سرعت صوت در شاره نیست.

۴-۶ عدد رینولدز

عدد رینولوز لوله برابر است با:

$$Re_D = \frac{v_p D \rho}{\mu} \quad (20)$$

که در آن:

D قطر داخلی لوله؛

v_p سرعت میانگین محوری مایع در لوله؛

ρ چگالی واقعی؛

μ گرانروی دینامیکی است.

تاثیر عدد رینولدز بر عدم قطعیت در کنتور فراصوت در بخش ۶-۲-۳ بررسی شده است.

۷-۴ تصحیح دما و فشار

در مدت کالیبراسیون شارش، عامل کالیبراسیون شارش کنتور، تعیین و به کار گرفته می‌شود. هر تغییر بعدی در فشار و دما در طی کالیبراسیون شارش، ابعاد فیزیکی کنتور را تغییر می‌دهد و اگر تصحیح نشود، خطای اندازه-گیری شارش سیستماتیک را مطرح می‌کند. در کل، دما و فشار در طی کالیبراسیون با دما و فشار در شرایط عملیاتی متفاوت است. تصحیح دما و فشار همواره برای کاربردهای فرآیند ضروری نیست. برای بسیاری از دستگاهها تاثیر فشار و دما معمولا در مقایسه با عدم قطعیت کلی، ناچیز است. برای کاربردهای با درستی بالا(به طور مثال در انتقالی که مبنای مالی دارد) و دما یا فشار بسیار زیاد، این مورد ممکن است موضوعیت نداشته باشد.

در بندهای الف-۱ تا الف-۴، رویکردی ساده برای استفاده از تخمین اولیه خطای شارش با شرایط دما و فشار متفاوت از شرایط مرجع کالیبراسیون است. اگر این خطا نسبت به عدم قطعیت لازم برای کاربرد انتقال که مبنای مالی داشته یا اهداف تخصیصی، معنی‌دار باشد، باید ارزیابی جزئی‌تری از خطای شارش انجام داد که در بخش الف-۵ منبع [۴۲] شرح داده شده است. این منبع توضیحی کامل و دقیق از فرایند را ارائه می‌دهد و در این استاندارد، استفاده از این سند برای بررسی پیش‌زمینه بسیاری از عبارات، به خواننده توصیه می‌شود.

۵ الزامات عملکرد

انتخاب کنتور فراصوت، وابسته به عملکرد الزامی آن است. کاربردهای بسیار متفاوتی وجود دارند. عملکرد معمولا به صورت عدم قطعیت در آهنگ شارش حجمی اندازه‌گیری شده در یک دامنه کاری از اعداد رینولدز (یا آهنگ شارش) مشخص می‌شود. برای اهداف کنترلی، هر مقدار عدم قطعیت ممکن است مشخص شود. برای اندازه‌گیری انتقال که مبنای مالی دارد، کاربران معمولا به معیارهای عملکرد شرح داده شده در استانداردهایی با کاربرد مربوطه، مراجعه می‌کنند، مانند سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO)، سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)، موسسه نفت آمریکا (API)، راهنمای استانداردهای اندازه‌گیری نفت یا سایر مواردی که عدم قطعیت، تکرارپذیری و خطی بودن را مشخص کرده‌اند.

عدم قطعیت در بند ۶ با استفاده از معادلات بند ۴، به دست آمده است. بند ۷، تاثیرات نصب (هم در کالیبراسیون و هم در استفاده از کنتور فراصوت) را پوشش می‌دهد. بند ۸ کالیبراسیون را شرح می‌دهد. بند ۹ اجزایی از عدم قطعیت را پوشش می‌دهد که برای طراحی کنتور فراصوت فقط باید یک بار ارزیابی شوند. بند ۱۱ چگونگی اجرای عملکرد و در بند ۵ با تسلسل ممیزی^۱ و چگونگی نگهداری آن با استفاده از عیب‌یابی^۲ و کالیبراسیون مجدد در عملیات میدانی(با استفاده از یک پروور^۳) و در آزمایشگاه را نشان می‌دهد. بند ۱۰، مشخصه‌های کنتور خصوصا در طراحی، ساخت و نشانه‌گذاری را پوشش می‌دهد.

1- Audit trail
2-Diagnostics
3-Prover

۶ عدم قطعیت در اندازه‌گیری

۱-۶ مقدمه

با استفاده از منبع [۴۳]، این آنالیز مبتنی بر رابطه ریاضی بین شارش حجم اندازه‌گیری شده و همه کمیت‌های ورودی وابسته به آن است. عدم قطعیت استاندارد هر کمیت ورودی، ارزیابی می‌شود و عدم قطعیت مرکب با گسترش عدم قطعیت به دست می‌آید.

شارش حجم اندازه‌گیری شده با یک کنتور فراصوت از فرمول ۹ و ۱۰ به دست می‌آید. وقتی که کنتور کالیبره شد یک عامل کالیبراسیون K وارد می‌شود. بنابراین شارش حجم برابر است با:

$$q_v = K q_{v,A} \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (21)$$

بنابراین عدم قطعیت وابسته است به:

الف- عدم قطعیت $u(K)$ در عامل کالیبراسیون K ؛

ب- عدم قطعیت $u(K_p)$ در K_p ناشی از پروفایل سرعت؛

پ- عدم قطعیت $u(A)$ در سطح مقطع عرضی اندازه‌گیری؛

ت- عدم قطعیت $u(v)$ ناشی از اندازه‌گیری سرعت - مسیر.

ارزیابی مناسب $u(v)$ مبتنی بر فرمول ۱۲ یا ۱۹ است. عامل اول در سمت راست فرمول ۱۲ و ۱۹ را می‌توان به عامل هندسی مسیر، K_g ارجاع داد. آن عامل تعیین می‌کند چه اختلاف زمان عبوری به سبب سرعت مسیر معین و زمان عبور ایجاد می‌شود. ابعاد K_g وابسته به استفاده از فرمول ۱۲ یا ۱۹ است. بنابراین عدم قطعیت کلی در اندازه‌گیری سرعت مسیر، شامل سه جزء زیر است:

الف- عدم قطعیت $u(K_g)$ در عامل هندسه مسیر؛

ب- عدم قطعیت $u(t)$ در اندازه‌گیری زمان؛

ج- عدم قطعیت $u(t_0)$ در جبران زمان تاخیر.

اگر تاثیرات دما و فشار در نظر گرفته شود، بیان مناسب باید در فرمول ۱۲ و ۲۱ به کار رود. عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری دما و فشار به عنوان مولفه‌های عدم قطعیت اضافی، اضافه می‌شوند.

عدم قطعیت استاندارد اندازه‌گیری شارش از گسترش مولفه‌های عدم قطعیت به دست می‌آید. سطح اطمینان عدم قطعیت استاندارد با فرض توزیع نرمال، ۶۸٪ است [۴۳]. عامل پوششی را می‌توان برای گزارش عدم قطعیت گسترده با سطح اطمینان بیشتر نیز به کار برد، معمولاً عامل پوشش $k=2$ است که در سطح اطمینان تقریباً ۹۵٪ ایجاد می‌شود. منبع [۴۳]

مثال‌های محاسبات عدم قطعیت در پیوست پ ارائه شده است.

۲-۶ ارزیابی مولفه‌های عدم قطعیت

۱-۲-۶ مقدمه

ارزیابی مولفه‌های عدم قطعیت بستگی به چگونگی کالیبراسیون کنتور دارد، روش‌های کالیبراسیون شامل:

الف- صرفاً روش اجرایی پیش‌بینی تئوری؛

ب- کالیبراسیون شارش در آزمایشگاه (بدون استفاده از پروور در محل^۱ یا کنتور اصلی^۲)؛

پ- کالیبراسیون در محل، در فواصل زمانی مشخص در برابر یک کنتور اصلی که خود در یک آزمایشگاه شارش، در بازه زمانی مشخص، کالیبره شده است؛

ت- کالیبراسیون در محل در برابر یک پروور، در بازه زمانی معین؛

ث- کالیبراسیون در محل، در بازه زمانی معین، در برابر یک کنتور اصلی که خودش در برابر یک پروور، در بازه-های زمانی معین، کالیبره شده است.

وقتی کنتور کالیبره می‌شود، عامل کالیبراسیون به‌دست آمده از نتیجه کالیبراسیون، باعث حذف تعدادی از منابع خطا می‌شود. بنابراین، عدم قطعیت‌های همه کمیت‌های ورودی که ثابت در نظر گرفته می‌شوند، حذف شده و با عدم قطعیت در عامل کالیبراسیون که مساوی با عدم قطعیت کالیبراسیون است، جابجا می‌شود. وقتی که یک کنتور در همان بدنه که در عملیات میدانی نصب شده برای شارش، کالیبره شده باشد، عدم قطعیت ممکن است به صورت عدم قطعیت‌های $u(A)$ ، $u(K_g)$ و $u(t_0)$ به کار رود. کالیبراسیون میدانی با استفاده از پروور نیز توزیع^۳ عدم قطعیت در $u(K_p)$ را کاهش می‌دهد که به وسیله اختلال‌های پروفایل شارش ایجاد شده است.

یک روش ارزیابی عدم قطعیت کمیت ورودی، آزمون عملکرد است. به طور مثال، برای عدم قطعیت پروفایل شارش ایجاد شده به سبب آشفتگی و عامل هندسی مسیر با ترانسدیوسرهای سوار شده بیرونی است. ممکن است برخی کمیت‌های ورودی که در کالیبراسیون ثابت در نظر گرفته می‌شوند، بعد از نصب کنتور در عملیات میدانی ثابت باقی نمانند. بنابراین ارزیابی عدم قطعیت بلند مدت، با در نظر گرفتن همه اجزا، الزامی است. ارزیابی مولفه‌های عدم قطعیت منفرد، در بندهای ۲-۶ تا ۷-۶ شرح داده شده است. یادآوری- به بندهای ۲-۴-۷، ۳-۴-۷ و ۱-۴-۷ مراجعه شود. آسیب، عدم قطعیت را افزایش می‌دهد.

۲-۲-۶ عدم قطعیت $u(K)$ در عامل کالیبراسیون (به بند ۸ مراجعه شود)

بعد از کالیبراسیون کنتور، عدم قطعیت عامل کالیبراسیون K برابر با عدم قطعیت کالیبراسیون است. اگر کنتور جهت شارش کالیبره نشده باشد، اما عملکرد آن با روش اجرایی تئوری پیش‌بینی می‌شود، مانند عدم قطعیت در K_g ، عدم قطعیت در بندهای ۳-۹ و ۴-۹ اندازه‌گیری می‌شود. برای کالیبراسیون در عملیات میدانی، به بند ۱۱-۳-۵-۲ مراجعه کنید.

1- In situ
2- Master meter
3-Contribution

۳-۲-۶ عدم قطعیت $u(K_p)$ در پروفایل سرعت (به بند ۷ مراجعه شود)

در حالت شارش متلاطم^۱ کاملا توسعه یافته، تاثیر پروفایل سرعت بر K_p را می توان با استفاده از عدد رینولدز لوله و زبری دیواره لوله (به پیوست ب مراجعه شود) تخمین زد.

در گستره عدد رینولدز بین تقریبا ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰، شارش از شرایط آرام به متلاطم تغییر می کند. در منطقه بین شرایط آرام و متلاطم، شارش انتقالی اتفاق می افتد و پروفایل سرعت سریعا به عقب و جلو بین شکل هایی که تقریبا برابر با پروفایل های آرام یا متلاطم هستند، تغییر وضعیت می دهد. در فرآیند تغییر وضعیت رو به عقب و جلو، پروفایل های سرعت پیچیده تری ایجاد می شوند. در آن عدد رینولدز شارش انتقالی اتفاق می افتد و ماهیت دقیق شارش انتقالی به عامل هایی شامل هندسه لوله و شرایط دمایی غالب، وابسته است. این گستره ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ به عنوان راهنمای عمومی برای حدود حداقل و حداکثر شارش انتقالی است، اما در این گستره، انتقال معمولا در گستره کوچکتری از عدد رینولدز رخ می دهد.

اثر شدید شارش انتقالی بر عدم قطعیت اندازه گیری، وابسته به طراحی کنتور است. کنتورهایی که فقط جهت مسیرهای قطری را به کار می گیرند، نسبت به انتقال از شارش آرام به متلاطم بسیار حساس هستند و برای این کنتورها، مقدار K_p از ۰٫۷۵ برای شارش آرام به بیش از ۰٫۹ در شارش متلاطم تغییر می کند. بنابراین اگر K_p به دلیل عدم قطعیت، با توجه به عدد رینولدز بحرانی، اشتباه به کار رود، خطاهای بزرگی اتفاق می افتد. کنتورهای چند مسیره که مسیرهای اضافی به کار می برند و قطری نیستند، می توانند این تاثیرات را کاهش دهند و شکل پروفایل را ارزیابی و بنابراین آرام، انتقالی یا متلاطم بودن شارش را آشکار کنند.

اگر کنتور فراصوت، در ورودی دستی برای مشخص کردن شرایط مایع عبوری و تعیین K_p ، به طور مثال چگالی و گرانی مایع را نیاز داشته باشد، مقادیر واقعی برای چگالی و گرانی دینامیک را باید در طی کالیبراسیون و همانند عملیات، وارد محاسبه کنتور فراصوت کرد، به علاوه حساسیت کنتور فراصوت به این پارامترها باید محاسبه شود به صورتی که کاربر بتواند نیاز به تغییر این پارامترها و تغییر شرایط عملیاتی را تعیین کند. گرانی را می توان بر اساس اندازه گیری دما و/یا فراصوت محاسبه کرد.

در عملیات میدانی، پروفایل شارش می تواند به دلیل آشفتگی^۲، مختل گردد. بنابراین مقدار $u(K_p)$ وابسته به مشخصه و اندازه اختلال و حساسیت کنتور دارد. حساسیت کنتور به اختلال های پروفایل شارش را می توان با استفاده از چند مسیره کاهش داد. اندازه اختلال را می توان با حالت دهنده های شارش کاهش داد. حالت دادن شارش همچنین می تواند بر اثرهای انتقال، تاثیر شدیدی داشته باشند.

شکستگی^۳ پروفایل شارش می تواند در شرایط آرام و متلاطم رخ دهد. به علاوه، شیب های دمایی در شارش های آرام می تواند رخ دهد، به بند ۳-۲-۶-۵ مراجعه شود.

1- Turbulent flow
2- Perturbation
3- Distortion

عدم قطعیت به دلیل اختلال‌های پروفایل شارش را می‌توان با آزمودن عملکرد (به بند ۹ مراجعه شود) با آشفستگی نوعی (اتصالات بالادست (زانویی و غیره) و گام‌های بالادست) تخمین زد. آزمودن عملکرد، حداقل طول لوله بالادست مستقیم لازم برای طراحی کنتور خاص، به منظور دستیابی به $u(K_p)$ مشخص شده را ارزیابی می‌کند.

به بندهای ۲-۳-۷، ۲-۳-۷، ۳-۳-۷، ۶-۳-۷، ۲-۴-۷، ۳-۴-۷، ۳-۳-۸، ۴-۲-۳-۸، ۵-۹، ۱۱-۵-۳-۲ مراجعه شود.

۴-۲-۶ عدم قطعیت $u(A)$ در سطح مقطع عرضی در مقطع اندازه‌گیری

اگر کنتور جهت شارش کالیبره نشده باشد، لازم است، عدم قطعیت سطح مقطع عرضی در مقطع اندازه‌گیری از عدم قطعیت اندازه‌گیری هندسی به دست آید. این موضوع بیشتر مربوط به کنتورهای حمل شده^۱ بدون بدنه کنتور است. قطر داخلی لوله از قطر خارجی اندازه‌گیری شده و ضخامت دیواره محاسبه می‌شود. ممکن است بیضی بودن معنی‌دار باشد.

سطح مقطع اندازه‌گیری نیز تحت تاثیر دما و فشار است (به بند ۴-۷ و پیوست الف مراجعه شود).

۵-۲-۶ عدم قطعیت $u(K_p)$ در عامل هندسی مسیر

کنتورهای حمل شده بدون بدنه کنتور، عامل کنتور با اسباب‌هایی که مربوط به طراحی کنتور خاص است، به دست می‌آید. عدم قطعیت وابسته به این فرایند را می‌توان با آزمودن عملکرد ارزیابی کرد. بند ۳-۹ را ببینید. دما به دلیل شکست (به طور مثال c_t در فرمول ۱۹) بر کنتورهای سوار شده بیرونی تاثیر دارد و باید در نظر گرفته شود.

هنگام فعالیت در ناحیه شارش آرام، می‌تواند افت‌های دمایی معنی‌داری در شارش اتفاق افتد، به دلیل آنکه مانند شارش متلاطم اختلاط وجود ندارد. پیامد شیب سرعت صوت ایجاد شده در طول مسیر فراصوت، سبب شکست و حرکت می‌شود که این فرض در محاسبه عامل هندسی مسیر به کار برده شده است. بنابراین وقتی بین دمای دیواره لوله یا محیط و شارش تفاوت وجود دارد، می‌تواند خطاهایی در شارش‌های آرام اتفاق افتد.

۶-۲-۶ عدم قطعیت $u(t)$ در اندازه‌گیری زمان

در اندازه‌گیری زمان به دلیل تفکیک‌پذیری، پایداری در صفر، نوفه و تلاطم، عدم قطعیت وجود دارد. به بندهای ۲-۲-۸ و ۱۱-۲-۴-۲ مراجعه شود.

۷-۲-۶ عدم قطعیت $u(t_0)$ در جبران زمان تاخیر

تاخیر زمانی، t_0 به دلیل مواد مداخله‌کننده، الکترونیک‌ها، پردازش سیگنال، طول کابل و غیره است. سرعت صوت در مواد مداخله‌کننده وابسته به دما است. اندازه این تاثیر را می‌توان محاسبه یا اگر ناچیز نیست، جبران کرد.

۷ نصب

۱-۷ کلیات

الزامات نصب کنتورها در فرایند با الزامات برای کنتورهایی که جهت انتقال که مبنای مالی دارند، ممکن است متفاوت باشد. هدف از این بند قادر ساختن کاربر جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های معرفی شده در نصب و در صورت امکان، کاهش آن‌ها است. این بند برای کالیبراسیون (بند ۸) و مانند عملیات (بند ۱۱) به کار می‌رود. در اصطلاح تاثیرات نصب دو انتخاب وجود دارد:

الف- استفاده از یک پروور در عملیات میدانی؛

ب- کالیبراسیون در یک آزمایشگاه.

موارد موجود در بند ۷-۴ باید برای هر دو انتخاب در نظر گرفته شود.

۲-۷ استفاده از پروور

اگر یک پروور (یا یک کنتور اصلی کالیبره شده در محل در مقابل یک پروور) برای کالیبره کردن کنتور فراصوت استفاده شود، آنگاه تاثیرات زانویی‌های بالادست به وسیله کالیبراسیون جبران می‌شود. تغییر در آهنگ شارش یا گرانروی ممکن است، تاثیر داشته باشد. شرایط شارش بالادست که بعد از کاربرد پروور تغییر می‌کند (به طور مثال فیلتر یا حالت‌دهنده شارش که اندکی بسته شود یا لوله‌های کنتور موازی مختلف در یک لوله اصلی باز شوند) نیز ممکن است، تاثیر داشته باشد.

۳-۷ کالیبراسیون در یک آزمایشگاه یا استفاده از یک روش اجرایی پیش بینی تئوری^۱

۱-۳-۷ کلیات

اگر کنتور فراصوت در آزمایشگاه کالیبره شود، اثر هر تفاوت بین نصب در کالیبراسیون و درسایت را باید در نظر گرفت. (به بند ۹ مراجعه شود)

اگر عملکرد کنتور فراصوت با استفاده از روش اجرایی پیش بینی تئوری، پیش‌بینی شود، هر تفاوت بین نصب جهت آزمون‌های بند ۹-۴ و نصب در سایت، باید در نظر گرفته شود.

اگر یک کنتور اصلی در آزمایشگاه کالیبره شده و برای کالیبره کردن کنتور فراصوت به کار رود، آنگاه تاثیرات نصب کنتور اصلی (به جای کنتور فراصوت) را باید در نظر گرفت.

۲-۳-۷ الزامات طول لوله مستقیم بالادست و پایین دست

ترکیبات مختلف اتصالات بالادست، شیرها، زانویی‌ها و طول لوله مستقیم می‌تواند شکستگی پروفایل سرعت در ورودی کنتور ایجاد کند که باعث خطای اندازه‌گیری آهنگ شارش می‌شود. اندازه خطای کنتور وابسته به نوع و شدت شکستگی شارش و حساسیت طراحی کنتور به این پیچیدگی دارد. این خطا را می‌توان با افزایش طول

لوله‌های مستقیم بالادست یا با استفاده از حالت‌دهنده‌های شارش کاهش داد. جهت جبران خطا، متناوباً کالیبراسیون شارش در محل یا در شرایط مشابه با شرایط سنجش را انجام دهید. کار تحقیقاتی بر روی اثرات نصب مداوم است، بنابراین برای طراحی خاص کنتور فراصوت، طراح نصب باید برای بازبینی آخرین نتایج آزمون و ارزیابی تاثیر چیدمان لوله‌کشی بالادست نصب و برنامه‌ریزی شده، با سازنده کنتور فراصوت همفکری کند. برای دستیابی به عملکرد مطلوب کنتور، طراح نصب باید چیدمان لوله‌کشی اصلی را تغییر دهد یا حالت دهنده شارش را به عنوان بخشی از اجرای کنتور به کار برد.

شرایط نوعی لوله‌کشی بالادست (شرایط عملیاتی) مانند زانویی‌ها، لوله‌های اصلی^۱، اتصالات تی‌شکل، حالت دهنده‌های شارش، تجهیزات فیلتراسیون^۲، تغییرهای قطر (گام‌ها، منبسط کننده‌ها، کاهنده‌ها) و شیرها، چرخش، پروفایل شارش نامتقارن، پروفایل شارش تخت، نوک تیز یا ترکیبی از آن‌ها را ایجاد می‌کند. یک طول از لوله بالادست مستقیم کنتور فراصوت یا بسته کنتور فراصوت می‌تواند این اثرات را کاهش دهد.

حداقل طول لوله بالادست مستقیم، I_{min} بین اتصال بالادست و کنتور فراصوت، حداقل طولی است که در آن طول و همه طول‌های بلندتر، عامل کالیبراسیون کنتور فراصوت در مقدار مشخص $S\%$ قرار داشته باشد. وقتی عدم قطعیت کلی کم باشد مقدار S نیز کم است. مقدار I_{min} برای چیدمان‌های لوله‌کشی بالادست مختلف، متفاوت است و فقط با استفاده از مجموعه استانداردهای مرجع تعیین می‌شود. تعیین I_{min} برای یک مجموعه استاندارد چیدمان لوله‌کشی بالادست، وظیفه اصلی در طی آزمون عملکرد است، به بند ۹ مراجعه شود. سازنده باید I_{min} را برای هر آشفتگی تعیین شده در بند ۹-۵ برای حداقل یک مقدار S فراهم کند. تعیین I_{min} چیدمان لوله‌کشی بالادست که برای آن I_{min} مشخص نیست، جزء مسئولیت کاربر است. حداقل طول لوله پایین دست مستقیم سه برابر D پیشنهاد می‌شود.

تفاوت مهم در بند ۷-۱ تفاوت بین عملکرد عملیات میدانی و در کالیبراسیون است. اگر کنتور با بالادست I_{min} استفاده شود، اما کالیبراسیون در لوله مستقیم با طول کافی انجام نشده باشد، خطا می‌تواند بیشتر از S باشد. اگر فاصله بسیار کوتاه با آشفتگی، غیرقابل اجتناب باشد، عدم قطعیت ایجاد شده را می‌توان با استفاده از همان جانمایی^۳ لوله در کالیبراسیون مانند عملیات میدانی کاهش داد.

و بسته به نوع گسترده نوع‌های کنتور فراصوت، چیدمان لوله‌کشی بالادست و حالت‌دهنده‌های شارش، عملاً استانداردسازی طول‌های بالادست غیرممکن است. به‌علاوه، فناوری کنتور فراصوت در حال پیشرفت است که استانداردسازی را با توجه به این نکته سخت‌تر می‌کند.

۷-۳-۳ جلوآمدگی‌های^۴ و گام‌های قطری

بهبتر است از تغییر در قطرهای داخلی و جلوآمدگی‌های در ورودی کنتور فراصوت جلوگیری کرد تا از اختلال پروفایل سرعت جلوگیری شود.

-
- 1- Headers
 - 2- Filtration equipment
 - 3- Layout
 - 4- Protrusions

فلنج‌ها و لوله بالادست مجاور، باید مستقیم و استوانه‌ای بوده و همه قطر داخلی یکسان داشته باشند مانند قطر داخلی ورودی کنتور، ترجیحا در محدوده ۱٪ ولی حداکثر ۳٪ و برای حداقل کردن اختلال‌های شارش، مخصوصا در فلنج بالادست به دقت هم تراز^۱ شده باشند. تاثیر استفاده از لوله بالادست با قطر کوچکتر از قطر کنتور، بسیار بیشتر از کاربرد لوله بالادست با قطر بزرگتر از کنتور است.

برای یک حداقل طول بالادست ۲D، نباید اختلال شارش ناشی از فلنج‌ها، مستقیم‌کننده‌های شارش و غیره وجود داشته باشد. در طول حداقل ۱۰D یا I_{min} بالادست کنتور هر کدام که کوچکتر است، مقطع(های) لوله باید الزامات زیر را رعایت کنند:

الف- گام قطر (تفاوت بین قطرها) نباید بیش از ۳٪ قطر لوله D باشد. به‌علاوه، گام واقعی ایجاد شده به وسیله غیر هم‌ترازی و/یا تغییر قطر نباید بیش از ۳٪ قطر لوله D در هر نقطه از محیط داخلی لوله باشد.

ب- جوش داخلی فلنج پایین دست لوله کشی بالادست باید صاف باشد و نباید هیچ بخشی از واشر یا لبه فلنج بالادست، وارد جریان شارش شود.

پ- زمانی گفته می‌شود لوله استوانه‌ای است که هیچ قطری در صفحه بیش از ۳٪ با قطر داخلی متوسط D به دست آمده از اندازه‌گیری مشخص، نباید تفاوت داشته باشد.

مقدار قطر لوله D باید میانگین قطرهای داخلی در طول $0.5D$ بالادست کنتور فراصوت باشد. میانگین قطر داخلی را می‌توان با روش‌های مختلف تعیین کرد که باید با سیستم کنترل کیفی مناسبی حمایت شود. دستگاه‌ها باید به استانداردهای ملی و بین‌المللی قابل قبول، قابلیت ردیابی داشته باشند.

هنگام تعیین قطر لوله D با دستگاه‌های دستی، این قطر باید میانگین حسابی اندازه‌گیری حداقل ۱۲ قطر باشد، یعنی برای موقعیت چهار قطر در زوایای تقریبا یکسان نسبت به یکدیگر که هر یک حداقل در سه مقطع عرضی عادلانه با فاصله برابر در طول $0.5D$ توزیع شده‌اند و دو سطح مقطع در فاصله صفر و $0.5D$ از کنتور فراصوت و یکی نیز در صفحه جوش باشد.

گام‌های قطری بزرگتر از ۳٪ در $10D$ بالادست کنتور فقط در حالت‌های استثنایی مجاز هستند. در این حالت، سازنده کنتور فراصوت ملزم به اثبات این موضوع است که اریبی^۲ اضافی ناشی از گام‌های قطر به اندازه کافی کوچک است. به طور مثال در آزمودن عملکرد، به بند ۹ مراجعه شود.

۷-۳-۴ ترموول‌ها

به بند ۱۰-۶-۲ مراجعه کنید.

۷-۳-۵ حالت‌دهنده‌های شارش

یکی از مزایای اصلی USM ها، عدم افت فشار است. استفاده از حالت دهنده‌های شارش، مقدمه‌ای بر افت فشار بوده و این مزیت را از بین می‌برد. فقدان فضای قابل دسترس برای طول کافی بالادست یا اثرات نامشخص چیدمان لوله کشی بالادست، عمومی‌ترین دلایل استفاده از آن می‌باشد.

نصب حالت دهنده‌های شارش در هر موقعیت بالادست کنتور فراصوت، باعث تغییری در آهنگ شارش نشان داده شده به وسیله کنتور می‌شود. این تغییر وابسته به عوامل مختلف (به طور مثال نوع حالت‌دهنده‌های شارش، نوع کنتور، موقعیت نسبی کنتور فراصوت، آشفتگی شارش بالادست ناشی از حالت دهنده شارش) است. در برخی حالت‌ها، این تغییر ناچیز است. برای جلوگیری از عدم قطعیت اضافی، بهترین گزینه آن است که کنتور فراصوت با حالت دهنده شارش واقعی و لوله کنتور در یک بسته کنتور فراصوت کالیبره شود. به نوبت، حالت‌دهنده شارش را می‌توان مطابق بند ۹-۵ نصب کرد.

دسته‌های لوله و حالت‌دهنده‌های شارش پره‌ای^۱ فقط مانع پیچش می‌شوند، حالت‌دهنده‌های نوع صفحه‌ای متخلخل^۲، هم پیچش را حذف می‌کنند و هم پروفایل شارش را بهبود می‌دهند، اما از حالت دهنده‌های دسته لوله یا پره، بیشتر افت فشار ایجاد می‌کنند.

۷-۳-۶ زبری دیواره

خط لوله بالادست استفاده شده در طی کالیبراسیون باید مشابه به زبری بکار برده شده در محل باشد. اگر خط لوله واقعی برای کالیبراسیون استفاده شود، الزام اضافی دیگری وجود ندارد. اگر زبری خط لوله بالادست در محل با زبری استفاده شده در کالیبراسیون متفاوت باشد، بر پروفایل شارش تاثیر می‌گذارد. تاثیر تغییر زبری، وابسته به طراحی کنتور بوده و می‌توان آن را تخمین زد. (به پیوست ب مراجعه شود).

اگر تغییرات زبری در سرویس مرتبط با کثیفی، موم، ماسه، خاک یا روکش درونی معیوب، باشد، می‌تواند باعث خطا شود. (به بند ۱۱-۴-۲-۳ مراجعه شود).

علاوه بر تاثیرگذاری بر پروفایل، زبری داخلی بدنه کنتور نیز می‌تواند پراکندگی معنی‌داری را در سیگنال فراصوت ایجاد کند، این موضوع به خصوص بر کنتورهای سوار شده بیرونی، تاثیر می‌گذارد. در بیشتر موارد، خطای اندازه‌گیری ایجاد نمی‌کند، اما می‌تواند باعث قصور^۳ در قرائت کنتور شود. خط لوله زبرتر، باعث کاهش استحکام سیگنال شده و همچنین انعکاس‌های دیواره مورد استفاده را محدود می‌کند. زبری دیواره لوله می‌تواند همچنین بر تخمین قطر داخلی لوله که از اندازه‌گیری قطر خارجی لوله و ضخامت دیواره به دست می‌آید، اثر داشته باشد.

1- Vane-type flow conditioners
2- Perforated- plate
3- Fail

۴-۷ اثرات نصب اضافی

۱-۴-۷ شارش ناپایا^۱

باید از شارش پالسی و ناپایا فراتر از ویژگی‌های سازنده، جلوگیری کرد.

۲-۴-۷ آلودگی به وسیله ذرات، مایع یا گاز دیگر

رسوباتی که در خطوط لوله مایع وجود دارند (مانند قطعه، موم، خاک یا ماسه) با کاهش سطح مقطع عرضی و کاهش طول موثر مسیر فراصوت و یا تغییر زاویه مسیر موثر، ممکن است، بر درستی کنتور تاثیر گذارد. این رسوبات ممکن است، زبری سطح را نیز تغییر دهد. به بند ۷-۳-۶ مراجعه شود.

این استاندارد ملی، اندازه‌گیری مایعات همگن تک‌فاز را پوشش می‌دهد. برای اطمینان از این موضوع، فیلتراسیون شارش بالادست مطلوب است و در کاربردهای دوسویه^۲، هم فیلتراسیون بالادست و هم پایین دست مطلوب خواهد بود. اما ظرفیت برای اختلال پروفایل شارشی که با تجهیزات فیلتراسیون ایجاد می‌شود، بهتر است شناخته شود و همچنین بهتر است از تجمع رسوبات جلوگیری شود. در شارش گاز اگر فراتر از محدودیت‌های مشخص شده توسط سازنده، وجود داشته باشد، بهتر است برای حذف آن، حذف کننده فراهم شود.

توصیه می‌شود از وجود آب در روغن، فراتر از محدودیت‌های مشخص شده توسط سازنده جلوگیری شود. بهتر است از ایجاد کاویتاسیون جلوگیری کرد.

۳-۴-۷ ارتعاش^۳

کنتورهای فراصوت نباید در معرض سطوح یا بسامد ارتعاشی قرار گیرند که ممکن است بسامدها طبیعی بردهای سیستم الکترونیکی، اجزاء یا ترانسدیوسرهای فراصوت را تحریک کنند. سطوح ارتعاش نباید بیش از مقدار مشخص شده توسط سازنده باشد.

۴-۴-۷ نوفه الکتریکی^۴

اگرچه طراحی یک کنتور فراصوت برای مقاومت در برابر تاثیرات نوفه الکتریکی آزمون شده است، اما کنتور فراصوت یا سیم کشی متصل به آن نباید در معرض نوفه الکتریکی غیرضروری، شامل جریان متناوب، سولنوئید-گذرا^۵ یا امواج رادیویی، خصوصا در بسامدهای فراصوت قرار گیرد.

-
- 1- Non-steady
 - 2- Bi-directional
 - 3- Vibration
 - 4- Electrical noise
 - 5-Solenoid transients

۷-۴-۵ عایق بندی

در شرایط عادی، لازم نیست بدنه کنتور یا لوله‌های مجاور را عایق کنیم. اما در برخی شرایط محدود مانند کاربرد شارش‌های برودتی یا آرام، عایق کردن کنتور و لوله‌ها لازم است تا از وارد شدن عدم قطعیت اضافی جلوگیری شود.

در کاربردهای عدد رینولدز پایین که شارش در منطقه‌های آرام یا گذرا است، عایق‌بندی در جلوگیری از تشکیل شیب‌های دمایی، که منجر به عدم قطعیت اضافی در عامل هندسی مسیر می‌شود، (به بند ۶-۲-۵ مراجعه شود) موثر است. برای آن که عایق‌بندی در شارش‌های آرام و گذرا موثر باشد، عایق بندی باید از نقطه بالادست محلی - که شارش به خوبی مخلوط می‌شود و شامل خود کنتور و لوله مستقیم بدون واسطه در پایین دست کنتور است، انجام شود.

۷-۴-۶ جفت‌شدگی صوتی^۱

جایی که جفت‌شدگی صوتی استفاده می‌شود، به منظور جلوگیری از میرایی^۲ سیگنال فراصوت ناشی از فقدان یا کاهش جفت‌شدگی صوتی توصیه می‌شود که کاربر شرایط جفت‌شدگی صوتی را بررسی کند.

۸ آزمون و کالیبراسیون

۸-۱ کلیات

الزامات فرایند کالیبراسیون کنتورها ممکن است اساساً متفاوت از الزامات کنتورهایی که جهت استفاده در انتقالی که مبنای مالی دارند، باشد. کاربر باید تعیین کند کدامیک از آزمون‌های توصیه شده در بند ۸ برای کاربردهای آنها لازم است (به بند ۵ مراجعه شود).

اگر عدم قطعیت ادعا شده کنتور فراصوت، کمتر یا برابر ۱٪ باشد، کالیبراسیون مطابق با بند ۸-۳ ضروری است.

۸-۲ آزمون منفرد - استفاده از یک روش اجرایی پیش‌بینی تئوری

۸-۲-۱ پارامترهای هندسی

سازنده باید موارد زیر را (جایی که در دسترس است) مستند کند:

الف - قطر داخلی متوسط کنتور؛

ب - سطح مقطع عرضی کنتور؛

پ - طول هر مسیر فراصوت بین وجوه ترانسدیوسر؛

ت - زاویه شیب هر مسیر فراصوت یا فاصله محوری (محورهای بدنه کنتور) بین جفت‌های ترانسدیوسر؛

ث - عدم قطعیت این اندازه‌گیری‌ها؛

1- Acoustic couplant
2-Attenuation

ج- جنس بدنه کنتور؛

چ- فشار بدنه کنتور و ضریب انبساط دمایی؛

ح- ضخامت دیواره؛

خ- زبری دیواره.

دمای بدنه کنتور باید در زمان اندازه‌گیری‌ها، اندازه‌گیری شود.

تمام دستگاه‌های به‌کار رفته برای این اندازه‌گیری‌ها باید دارای کالیبراسیون معتبر و با قابلیت‌ردیابی به استانداردهای ملی و بین‌المللی قابل قبول باشد.

۸-۲-۲ زمان بندی^۱ و تاخیرهای زمانی و آزمون تصدیق شارش صفر

تاخیرهای زمانی باید اندازه‌گیری شده و یک آزمون تصدیق شارش صفر نیز انجام شود.

۸-۳ آزمودن منفرد- کالیبراسیون شارش تحت شرایط شارش

۸-۳-۱ کلیات

هم بسته‌های کنتورهای فراصوت و هم کنتورهای فراصوات منفرد (همان طور که در بند ۱۰-۱-۴ شرح داده شده است) می‌توانند کالیبره شده باشند.

کالیبراسیون شارش باعث می‌شود مجموعه‌ای از خطاهای سیستماتیکی که تابعی از عدد رینولدز است، آزاد شود (یا آهنگ شارش واقعی) و برای اصلاح خروجی کنتور به کار رود. این مجموعه معمولاً به صورت منحنی کالیبراسیون ارائه می‌شود.

تفاوت‌ها در ابعاد ناشی از اختلاف دما و فشار بین کالیبراسیون و عملیات ممکن است به صورت شرح داده شده در بند ۴-۷ اصلاح شود.

۸-۳-۲ کالیبراسیون شارش آزمایشگاهی

۸-۳-۲-۱ کلیات

برای حداقل کردن عدم قطعیت کالیبراسیون، باید کالیبراسیون به صورت زیر انجام شود:

الف- مطابق شیوه^۲ آزمایشگاهی مناسب؛

ب- مطابق با روش‌های شناخته شده توسط استانداردهای بین‌المللی و ملی؛

پ- در آزمایشگاهی که مطابق با استاندارد ملی ۱۷۰۲۵ عمل می‌کند؛ منبع [۳]

ت- تحت شرایط شارش مناسب (به بند ۸-۳-۲-۴ مراجعه شود)؛

ث- تحت شرایط شارش پایا (به بند ۸-۳-۲-۴ مراجعه شود)؛

ج- کل مدت زمان معنی‌دار آماری (به بند ۸-۳-۲-۲ مراجعه شود)؛

چ- کل گستره مناسب اعداد رینولدز در حین خدمت^۱ کنتور جوابگو باشد، تعداد نقاط کافی برای مشخص کردن درستی کنتور توصیه می‌شود که گرفته شود.

ح- در گرانروی مشابه شرایط عملیاتی کنتور، جایکه امکان داشته باشد. این امر اطمینان می‌دهد که نه فقط عدد رینولدز بلکه آهنگ شارش نیز تطابق دارد. اگر با گستره وسیعی از گرانروی در کاربرد میدانی مواجه می‌شوید، ممکن است کالیبراسیون در بیشتر از یک گرانروی لازم باشد، به طوری که گستره اعداد رینولدز، کامل پوشش داده شود.

خ- جایی که امکان داشته باشد، مقاطع لوله بالادست و پایین دست کنتور بهتر است هم برای کالیبراسیون اولیه و مجدد به کار روند. جایی که این کار عملی نباشد، ماسوره‌های^۲ کالیبراسیون که در مقاطع بالادست و پایین دست لوله دوتایی هستند (شامل حالت‌دهنده شارش اگر استفاده شود) بهتر است به کار روند. برای کالیبراسیون اولیه، مزایا و معایبی در استفاده از ماسوره‌های دوتایی نسبت به ماسوره واقعی وجود دارد، استفاده از ماسوره‌های واقعی برای کالیبراسیون اولیه بهتر است اما اگر ماسوره دوتایی برای کالیبراسیون‌های بعدی به کار رود، آن‌ها شاید برای کالیبراسیون اولیه نیز به کار رود برای این که هر تغییری در کنتور ممکن است دیده شود. الزامات هم ترازوی خطوط لوله بالادست (خواه ماسوره‌های واقعی یا ماسوره‌های دوتایی) کنتور نیز ممکن است، مهم باشد.

د- نصب بالادست کنتور باید به صورت کامل شرح داده شود.

ذ- جایی که امکان دارد، دما و فشار مشابه با شرایط عملیاتی کنتور و در جایی که امکان ندارد به پیوست الف و بند ۴-۷ مراجعه شود.

۸-۳-۲-۲ مدت کالیبراسیون

مدت اندازه‌گیری (در یک آهنگ شارش تکی) باید به اندازه کافی زیاد باشد تا تاثیرات تغییرات تصادفی در فرایندهای کنتور که ناشی از تلاطم شارش است را ناچیز سازد. آن همچنین باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا نادرستی ناشی از زمان‌های پاسخ فرایندهای کنتور به وسیله تغییرات در آهنگ شارش در شرایط قبل و بعد از آزمون را ناچیز کند. مانند در کالیبراسیون هر کنتوری، مدت زمان باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا عدم قطعیت ناشی از تفکیک‌پذیری خروجی کنتور تا سطوح ناچیز، کاهش یابد.

۸-۳-۲-۳ عدم قطعیت امکانات کالیبراسیون^۳

عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های انجام شده در امکانات آزمون باید به قدر کافی کوچک باشد تا اعتبار عدم قطعیت کلی سیستم اندازه‌گیری مطابق گردد. هرگاه که امکان داشته باشد، سیستم اندازه‌گیری مرجع باید عدم قطعیت کوچکتر، با یک ضریب حداقل سه، از سیستم تحت آزمون داشته باشد.

1- In -Service

2- Spools

3- Calibration facility

۸-۳-۲-۴ شرایط شارش

شرایط لوله‌کشی بالادست در آزمایشگاه باید طوری انتخاب شود که حداقل خطای اضافی (با عملکرد ادعا شده در بند ۵) را وارد کند.

طول مستقیم بالادست بسته‌کن‌تور باید بزرگتر یا برابر l_{min} باشد. اگر حداقل طول به کار رود، لازم است تاثیر عدم قطعیت نصب در کالیبراسیون و در عدم قطعیت کلی در نظر گرفته شود که اضافه بر عدم قطعیت تاثیر نصب در محل است. الزامات و توصیه‌های ارائه شده در بند ۷-۳ باید در محاسبات در نظر گرفته شود. شرایط، طی کالیبراسیون یا آزمون در امکانات کالیبراسیون به طور مثال قطرهای داخلی لوله، چیدمان لوله بالادست و شرایط سطوح داخلی کن‌تور فرا صوت و لوله‌ها باید به درستی مستند شود.

صفحات سوراخ‌دار باعث ایجاد تلاطم معنی‌داری می‌شوند. وقتی که صفحه سوراخ‌دار نزدیک به کن‌تور است، کالیبراسیون صفحه سوراخ‌دار بدون واسطه در پایین دست بر تکرارپذیری کوتاه مدت^۱ کن‌تور فراصوت، که معمولاً کمتر از $10D$ فاصله دارد، اثر می‌گذارد.

کالیبراسیون با استفاده از تکنیک پرواز-شروع و پایان^۲ مزایایی نسبت به تکنیک ایستا-شروع و پایان^۳ دارد، به دلیل آن که سرعت شارش در سراسر جمع‌آوری^۴ داده‌های کالیبراسیون، ثابت است.

۸-۳-۲-۵ محدوده گستره کالیبراسیون در کالیبراسیون اولیه

مشخص شده است که نمی‌توان کن‌تورهای فراصوت بزرگ را تا حداکثر آهنگ شارش آن‌ها آزمون کرد که به خاطر محدودیت‌های امکانات آزمون در دسترس است. کن‌تور فراصوت در بیش از گستره اعداد رینولدزی قابل قبول است که در آن گستره بیشتر کالیبره شده باشد.

اگر وابستگی عامل کالیبراسیون به عدد رینولدز برای کن‌تور فراصوت محرز شده باشد، می‌توان پذیرفت که از مایع با گرانروی کمتر برای کالیبراسیون استفاده کرد نسبت به مایعی که در عملیات میدانی یافت می‌شود.

اگر استفاده از کن‌تور فراصوت در اعداد بالاتر از رینولدزی که در آزمایشگاه‌های کالیبراسیون مایع در دسترس هستند، مطلوب باشد (به طور مثال آب خیلی گرم یا مایعات برودتی)، برون‌یابی^۵ آن ضروری است. برون‌یابی ریسک‌هایی دارد که منجر به افزایش عدم قطعیت می‌شود و در صورتی قابل قبول است که الگوریتم‌ها، معرف خوبی از خصوصیات فیزیکی باشند. عدم قطعیت اضافی نیز باید تخمین زده شود.

1-Short-term
2- Flying-start-and- finish
3- Static- start- and-finish
4-Collection
5- Extrapolate

۸-۳-۲-۶ کالیبراسیون دو سوپه

کالیبراسیون شارش فقط برای جهتی که کنتور در آن کالیبره می‌شود، معتبر است. کالیبراسیون شارش برای کاربرد دوسوپه، نیاز به کالیبراسیون کنتور در هر جهت دارد.

۸-۳-۲-۷ گزارش

نتایج کالیبراسیون باید برای کنتور در دسترس بوده و شرایطی که کالیبراسیون در آن رخ داده است، اظهار شود.

۹ آزمون عملکرد

۹-۱ مقدمه

آزمون عملکرد برای تعیین مولفه‌های عدم قطعیت که فقط یک‌بار برای یک نوع خاص از کنتور فراصوت انجام می‌شود، به طوری که برای کنتورهای منفرد نیاز به آزمون نمی‌باشد. نتایج آزمون عملکرد باید به هم پیوست شده و در یک گزارش مفصل در دسترس کاربر قرار گیرد.

این بخش روش‌های تعیین مولفه‌های عدم قطعیت که با کالیبراسیون حذف نمی‌شوند را تعریف می‌کند تا عدم قطعیت کنتور در عملیات میدانی ارزیابی شود. این روش‌ها برای استفاده توسط سازندگان در نظر گرفته می‌شود تا عملکرد محصولات آن‌ها تعیین شود و به وسیله کاربران یا آزمون‌های مستقل برقرار گردد تا ویژگی‌های سازنده تصدیق شود.

آزمون عملکرد باید توسط آزمایشگاهی که مطابق با استاندارد ملی ۱۷۰۲۵ یا معادل آن عمل می‌کند، هدایت شود.

کنتورهای به کار رفته برای آزمون عملکرد باید مجهز به همه بخش‌های مشخصه آن‌ها (الکترونیک‌ها، ترانسدیوسرها، نرم افزار و غیره) باشد. اعتبار آزمون عملکرد باید به صورت واضح تعریف شود. توصیه می‌شود که آزمون عملکرد در یک اندازه کنتور کوچکتر از نوع کنتور فراصوت انجام شود تا بیشترین تاثیر پارامترهای هندسی و تاخیرهای زمانی عملکرد کنتور، ارزیابی گردد.

این استاندارد ملی محدوده‌های عدم قطعیت ناشی از تاثیرات عملیات میدانی را تعریف نمی‌کند. این محدوده‌ها توسط کاربر براساس الزامات کاربردشان، به وسیله استانداردهای کاربردی درخواستی یا به وسیله مقررات قانونی تعریف می‌شود. عدم قطعیت ناشی از نصب هم شامل عدم قطعیت کل می‌شود (به بند ۵ مراجعه کنید).

آزمون بندهای ۲-۹، ۴-۹، ۵-۹ و ۶-۹ باید حداقل در دو اندازه کنتور انجام شود. ایده‌آل است که قطرهای لوله با ضریب ۲ فرق کنند. اگر این امر ممکن نباشد، قطرهای اسمی لوله باید حداقل ۱۰۰ mm اختلاف داشته باشند. آزمون بند ۵-۹ در زمانی که کنتور تنها با اتصال به یک پروور به کار می‌رود، لازم نمی‌باشد.

۲-۹ تکرار پذیری و تجدید پذیری

کالیبراسیون باید در شرایط شارش بدون آشفتگی با آهنگ شارش زیر انجام شود: ۱۰۰٪، ۷۰٪، ۴۰٪، ۲۵٪، ۱۰٪ و ۵٪ آهنگ شارشی که توسط سازنده (و با امکانات کالیبراسیون قابل دستیابی است) انتخاب می‌شود. این آزمون‌ها مبتنی بر آهنگ شارش هستند و برخلاف عدد رینولدز، از آنجا که تغییرپذیری شارش با کاهش آهنگ شارش، افزایش می‌یابد، مستقل از عدد رینولدز است. تکرارپذیری باید حداقل برای سه آهنگ شارش اندازه‌گیری شود (۱۰۰٪، ۲۵٪ و ۵٪ از آهنگ شارش حداکثر) برای هر کدام از این آهنگ‌های شارش، ۱۰ اندازه‌گیری منفرد باید انجام شود. سرعت، حجم اندازه‌گیری، مدت و خطا باید گزارش شود. تکرارپذیری از منبع [۴۱] با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$t_{95} s \sqrt{2}$$

که در آن:

S انحراف استاندارد از n خطاهای اندازه‌گیری شده است؛

t_{95} ارزیابی آماری t دانشجویی برای n-1 نقطه است.

برای اندازه‌گیری تجدیدپذیری تحت شرایط تغییر یافته در زمان، همان کنترل باید دقیقاً در شرایط نصب مشابه، با اختلاف زمان حداقل یک هفته‌ای آزمون شود. تجدیدپذیری باید از اختلاف بین دو کالیبراسیون با فاصله حداقل یک هفته به طور مجزا تعیین شود. شرایط تجدیدپذیری باید گزارش شود.

تجدیدپذیری در سرتاسر یک گستره پیوسته سرعت صوت باید برای تعیین اثرات تداخل^۱ سیگنال‌های صوتی و الکتریکی از منبع مرتبط تعیین شود. اندازه‌گیری‌ها باید در یک سرعت ثابت تکی ۱m/s در لوله انجام شود. گستره سرعت‌های صوت باید طوری باشد که عدد طول موج، بین دو ترانسدیوسرهای متقابل، تا ۲ برابر تغییر کند. به عبارت دیگر، اگر f بسامد سیگنال صوتی باشد:

$$\frac{l_p}{c} f = \frac{l_p}{c + \Delta c} f + 2 \rightarrow \Delta c = \frac{2c^2}{fl_p - 2c} \quad (22)$$

این امر می‌تواند با تغییر دمای مایع به دست آید. به طور مثال، اگر آب در بسامد فراصوت ۱MHz با طول مسیر ۲۵۰mm به کار رود، تغییر آهسته دما از ۲۰°C تا ۲۷°C کافی است. برای پوشش کل دامنه، نقاط با فاصله تقریباً معادل در سرعت صوت باید اندازه‌گیری شوند. منحنی انحراف نسبی آهنگ شارش برحسب سرعت صوت باید گزارش شود.

۳-۹ آزمون‌های اضافی برای کنتورهای با ترانسدیوسرهای سوار شده بیرونی

اگر کنتور به صورت بیرونی سوار شده باشد آزمون‌های اضافی زیر باید انجام شود. کنتور در ۱۲ لوله از آهنگ‌های شارش زیر و یک آهنگ شارش که توسط سازنده انتخاب شده و قابل حصول در امکانات کالیبراسیون باشد، کالیبره شود:

۱۰۰٪، ۴۰٪ و ۱۰٪.

یادآوری - این آهنگ شارش در لوله‌ها با اندازه‌های مختلف، متفاوت است.

- یک ماده خاص (به طور مثال فولاد ضد زنگ) از یک ابعاد لوله با سه ضخامت دیواره مختلف؛
- در لوله‌های فولاد ضد زنگ با سه ابعاد لوله و ضخامت دیواره یکسان؛ (کل گستره قطرهای لوله، اگر امکان داشته باشد، در یک نسبت حداقل ۳ به ۱، اگر این ممکن نباشد، گستره‌ای حداقل ۲۰۰mm در قطر، اگر کوچکتر از ۲۰۰ mm باشد گستره‌ای که در محصولات به کار برده می‌شود)؛
- در فولاد کربنی، چدن داکتیل^۱، PVC، PVDF، PE و لوله ملات اندود^۲ با اندازه مشابه و ضخامت دیواره در لوله‌های قابل دسترس تجاری.

عدم قطعیت استاندارد از خطاهای اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود. منبع [۴۳]

۴-۹ تعیین عدم قطعیت کنتوری که عملکرد آن با استفاده از روش اجرایی پیش بینی تئوری پیش بینی می‌شود

وقتی عامل کنتور با روش اجرایی‌ای غیر از کالیبراسیون تحت شرایط شارش تعیین می‌شود، ارزیابی عدم قطعیت برای این روش باید توسط سازنده انجام شود.
یک راه برای تعیین این عدم قطعیت، کالیبراسیون حداقل ۱۰ کنتور در شرایط شارش است؛ این کالیبراسیون‌ها باید توسط شخصی مستقل گواهی^۳ شود. عدم قطعیت استاندارد از خطاهای اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود.

۵-۹ شرایط نصب به لحاظ مکانیک سیالات

سازنده باید حداکثر انحراف S و حداقل طول I_{min} مورد نیاز را مشخص کند تا انحراف ناشی از آشفتگی را کمتر از S نگه دارد. سازنده می‌تواند چندین جفت از مقادیر S, I_{min} را مشخص کند. حداقل طول لازم I_{min} برای هر آشفتگی با آزمون‌های تعریف شده در این بخش تعیین می‌شود.
خطوط پایه^۴ شرایط شارش مرجع با اندازه‌گیری عامل کالیبراسیون با نصب در $70D$ بالادست قبل از کنتور توسط حالت‌دهنده شارش که لوله مستقیم $10D$ قبل از آن قرار گرفته است، تعیین می‌شود. طول کوتاه‌تر ممکن است به کار رود، اگر از لوله مستقیم با طول کوتاه‌تر به جای $70D$ استفاده کنیم، خطوط پایه کافی را می‌دهد. اگر عامل‌های کالیبراسیون با $nD, (n+10)D, (n+20)D$ (یا $nD, (n+5)D, (n+10)D$) از لوله مستقیم بالادست

1- Ductile iron
2- Mortar- lined pipe
3- Witnessed
4- Base line

همه در $0.3S$ (۳۰٪) از حداکثر انحراف مجاز مشخص شده ناشی از اتصالات بالادست باشند، سپس nD کافی است. هر خطا در خطوط انتهایی بر مقدار I_{min} تعیین شده، تاثیر می گذارد. برای مجموعه استاندارد شده با آشفستگی‌ها، آزمون‌های زیر باید اجرا شوند:

الف- یک زانویی 90° تکی (شعاع انحنای $1/5D$):

۱- کنتور فراصوت در موقعیت عادی،

۲- کنتور فراصوت با چرخش 90° ،

۳- کنتور فراصوت با چرخش 180° ،

۴- کنتور فراصوت با چرخش 270° ؛

ب- دو زانویی 90° در صفحات عمودی (شعاع خمیدگی $1/5D$ بدون جدا کننده بین زانویی‌ها):

۱- کنتور فراصوت در موقعیت عادی،

۲- کنتور فراصوت با چرخش 45° (این آزمون تنها در I_{min} نیاز است)،

۳- کنتور فراصوت با چرخش 90° ،

۴- کنتور فراصوت با چرخش 135° (این آزمون تنها در I_{min} نیاز است)؛

پ- یک منبسط کننده^۱ استاندارد با انبساط قطر ۲:۳ یا ۳:۴؛

ت- یک گام قطر با اندازه ۵٪ که افزایش قطر داخلی را ارائه می دهد (یا مقدار بزرگتر، اگر سازنده، گام‌های بزرگتر را اجازه دهد)؛

ث- اگر سازنده لازم بداند، یک حالت دهنده شارش انتخاب با آشفستگی‌های بیان شده از الف تا ت در ترکیب قرار دهد.

آزمون‌ها باید برای حداقل در دو عدد رینولدز اجرا شوند. نسبت ۵:۱ بین دو عدد رینولدز ایده آل است (به طور مثال 10^5 و $10^4 \times 2$). موارد مرتبط شامل مقادیر میانگین سه اندازه‌گیری تکی در هر عدد رینولدز است. تمام انحراف‌های میانگین محاسبه شده بین مقادیر شارش آشفته و خطوط پایه‌ای باید در S باشد.

آزمون‌ها باید با اتصالات مشخص شده در یک سری از طول‌های بالادست، فلنج بالادست یک کنتور در خط یا بالادست اولین نگهدارنده کنتور با ترانسدیوسرهای سوار شده بیرونی جهت انجام، توافق شود، این طول‌ها برابر $3D$ ، $5D$ ، $10D$ ، $15D$ ، $20D$ ، $25D$ ، $30D$ ، $40D$ و $50D$ است. برای تعیین این مساله که کنتور برای فواصل بزرگتر یا برابر nD قابل قبول است، باید ثابت شود^۲ که برای nD و دو طول بزرگتر بعدی در سری‌ها، قابل قبول است، در طول بزرگتر آزمون لازم نمی باشد.

1-Expansion
2-Demonstrated

۹-۶ شبیه‌سازی نقص^۱ مسیر و تعویض اجزاء

جایی که احتمال دارد که کنتور در صورت نقص مسیر به کار خود ادامه دهد، تاثیر نقص باید در کالیبراسیون شارش کنتور با شبیه‌سازی نقص یک یا چند مسیر تعیین شود. آزمون بهتر است در یا اطراف نقطه میانی گستره عملیاتی مورد انتظار کنتور، انجام شود. طی آزمون، آهنگ شارش باید تا ۲۰٪ تغییر کند تا از واکنش مناسب کنتور مطمئن شویم.

اگر دستگاه طوری طراحی شده تا اجازه تعویض قطعات را بدون برداشتن آن‌ها بدهد، سازنده باید قابلیت کنتور برای تعویض یا جابجایی ترانسدیوسرها، قطعات الکترونیک و نرم افزار را بدون تغییر معنی‌دار در عملکرد، ثابت کند. این امر باید برای موارد زیر ثابت شود:

- الکترونیک‌ها؛

- ترانسدیوسرهای انواع مسیر مختلف.

وقتی مولفه‌ها تعویض می‌شوند، جابجایی^۲ نتیجه در خطای میانگین کنتور نباید بیشتر از مقدار تعیین شده باشد تا اطمینان حاصل شود که کنتور، عدم قطعیت لازم در بند ۶ را حفظ می‌کند.

۱۰ مشخصه‌های کنتور

۱-۱۰ بدنه، مواد و ساختار کنتور

۱-۱-۱۰ مواد و ساخت

بدنه کنتور بهتر است از موادی ساخته شود که سازگار^۳ با سرویس مورد نظر باشد. یک کنتور فراصوت با قطر داخلی برابر قطر داخلی فلانچ به صورت "قطر داخلی کامل"^۴ نشان داده می‌شود. کنتور فراصوت با قطر داخلی کوچک‌تر از قطر داخلی فلانچ، باید مانند "قطر داخلی کاهش یافته" نشان داده شود.

۱۰-۱-۲ پورت‌های فراصوت

از آنجایی که مایع اندازه‌گیری شده ممکن است شامل ناخالصی‌هایی باشد (مانند گازها، سایر مایعات یا جامدات)، پورت‌های ترانسدیوسر باید طوری طراحی شوند که احتمال انباشت گازها، دیگر مایعات یا جامدات را در پورت-های ترانسدیوسر کاهش دهند.

جهت حداقل کردن اثرات گاز یا رسوب، ترانسدیوسرها بهتر است در بالا و پایین لوله نصب نشوند.

1- Failure
2- Shift
3- Compatible
4-Full bore

۱۰-۱-۳ تمهیداتی جهت جلوگیری از غلت خوردن^۱

کنتور باید طوری طراحی شود که بدنه آن در زمانی که روی سطح صاف تا شیب 10% (5.7°) ساکن قرار می‌گیرد، غلت نخورد. این امر جهت جلوگیری از آسیب دیدن ترانسدیوسرهایی که دارای برآمدگی و سیستم الکترونیک هستند در زمانیکه به طور موقتی کنتور فراصوت بر روی زمین در زمان نصب یا نگهداری قرار داده می‌شود، است.

کنتور باید طوری طراحی شود که طی حمل و نقل و نصب، کار با آن آسان و ایمن باشد اما تمهیداتی جهت جلوگیری از غلت خوردن در مدت حمل و نقل به تنهایی کافی نیست. حلقه‌ها یا فضای بازی جهت تسمه‌های بالابر باید تعبیه شود.

۱۰-۱-۴ حالت‌دهنده شارش

یک حالت‌دهنده شارش (وسیله‌ای که در نظر گرفته شده جهت بهبود و هم پایداری شکل پروفایل شارش در داخل کنتور فراصوت) به کنتور فراصوت وصل می‌شود و بنا نیست از کنتور فراصوت جدا شود و به عنوان بخشی از کنتور فراصوت در نظر گرفته می‌شود. برای اهداف این استاندارد ملی، ترکیب حالت دهنده شارش و کنتور فراصوت به صورت " کنتور فراصوت " در نظر گرفته می‌شود.

یک حالت‌دهنده شارش، به کنتور فراصوت وصل نیست اما همیشه در ارتباط با کنتور فراصوت در نظر گرفته می‌شود و با لوله کنتور رابط^۲ است و یک بسته کنتور فراصوت را شکل می‌دهد. در تنظیمات دو سویه، یک ترموول ممکن است بخشی از بسته کنتور فراصوت باشد. در یک بسته کنتور فراصوت، حالت‌دهنده شارش معمولاً در فاصله ۳D تا ۱۰D بالادست کنتور فراصوت نصب شده است.

هر نوع حالت‌دهنده دیگر شارش بالادست یک بسته کنتور فراصوت، به عنوان بخشی از نصب یا امکانات کالیبراسیون در نظر گرفته می‌شود. برای خطوط پایه امکانات کالیبراسیون، به بند ۹-۵ مراجعه شود.

۱۰-۱-۵ نشانه‌گذاری‌ها

نشانه‌گذاری‌ها معمولاً بر اساس قوانین و استانداردهای ملی انجام می‌شود. می‌توان انتظار داشت که موارد زیر را روی پلاک اسم^۳ مشاهده کرد:

الف- سازنده، شماره مدل و شماره سریال؛

ب- اندازه کنتور، رده فلنج و جرم کل (اگر دستگاه سنگین باشد)؛

پ- کد طراحی و جنس بدنه کنتور، کد طراحی و جنس فلنج؛

ت- حداکثر فشار عملیاتی و گستره دمایی عملیاتی؛

ث- حداکثر و حداقل آهنگ شارش حجمی واقعی در ساعت؛

1- Anti-roll provision

2- Linking

3- Name plate

- ج- جهت شارش مثبت یا رو به جلو؛
چ- جهت کنتور؛ (" این طرف به سمت بالا")؛
ح- سال و ماه ساخت لازم است تعیین شود، مگر آنکه آن‌ها را به راحتی از روی شماره سریال تعیین کرد؛
خ- مطابقت با استانداردهای ملی.
پلاک‌های اسم ممکن است شامل مطالب زیر باشد:
۱- شماره سفارش خرید یا شماره سفارش فروشگاه؛
۲- شناسه تصویب اندازه‌شناسی قانونی؛
۳- گواهی که کنتور ضدانفجار^۱ است.

اگر پورت‌های ترانسدیوسر قابل دستیابی باشند، هر پورت ترانسدیوسر باید به طور ثابت با علامت یکتا برای ارجاع آسان، نشانه‌گذاری گردد. اگر نشانه‌گذاری بر روی بدنه کنتور مهر شده باشد، ممکن است تنش اندک مهر به کار رود تا اثر ته گرد را ایجاد کند.

۱۰-۱-۶ حفاظت در برابر خوردگی

بلافاصله بعد از تولید، سطح داخلی کنتور، قطعات ماسوره و حالت‌دهنده‌های شارش باید در برابر خوردگی محافظت شوند.

۱۰-۲-۲ ترانسدیوسرها

۱۰-۲-۱ کلیات

نوع ترانسدیوسر باید مناسب شرایط کاربرد باشد به طور مثال گرانروی سیال.

۱۰-۲-۲ نشانه‌گذاری

اگر پورت‌های ترانسدیوسر در دسترس باشند، هر ترانسدیوسر باید به صورت دائم با شماره سریال یکتا نشانه-گذاری شود.

۱۰-۲-۳ کابل

اگر کنتور فراصوت به مشخصه‌های کابل ترانسدیوسر منفرد حساس باشد، کابل باید به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر کنتور در نظر گرفته شود و با نشان هشدار، نشانه‌گذاری شود که مشخصه آن را نباید تغییر داد، به طور مثال طول.

۱۰-۳ الکترونیک‌ها

۱۰-۳-۱ الزامات عمومی

سیستم الکترونیک کنتور فرا صوت معمولاً شامل منبع تغذیه، میکرو کامپیوتر، اجزای پردازش سیگنال و مدارهای تحریک^۱ ترانس دیوسر فرا صوت است.

تمام تجهیزات الکترونیک باید مطابق با استانداردهای ملی باشند که حاکم بر ایمنی الکتریکی و واکنش تاثیرات الکترومغناطیسی و محیطی است. به علاوه، آن استانداردها الزاماتی را برای پوشش‌های محافظ ضد انفجار و طراحی‌های ایمن ذاتی تعیین می‌کنند. این استانداردها نوعاً بیان می‌کنند که دستگاه باید با همین مشخصات در تمام دامنه شرایط محیطی کار کند. مطابقت با چنین استانداردهایی (به طور مثال FCC, CE, IEC, IP) بر روی دستگاه نشانه‌گذاری می‌شود. وقتی دستگاهی برای نصب خاص پذیرفته می‌شود، باید تصدیق شود که استانداردها، این عملیات خاص را پوشش می‌دهند و دستگاه با آن‌ها مطابقت می‌کند. مطابقت با این استانداردها با بازرسی نشانه‌گذاری‌ها و مستندات سازنده می‌تواند بررسی شود. در نصب خاص، ممکن است الزاماتی وجود داشته باشد که فراتر از استانداردهای ملی هستند. در آن مورد، مطابقت باید مبتنی بر تصدیق مورد به مورد باشد.

۱۰-۳-۲ منبع تغذیه

سازنده باید منبع تغذیه لازم، رواداری تغییرات ولتاژ و مصرف توان را مشخص کند. عکس العمل کنتور فرا صوت به قطع برق و افت ولتاژ نیز باید مشخص شود.

۱۰-۳-۳ شارش پالسی

کنتور باید بر شارش غیر پایا غلبه کند. برای این منظور، سیگنال‌ها باید با آهنگ غیر ثابت ارسال شوند. سازنده باید حداکثر بسامد نوسان شارش را مشخص کند.

۱۰-۳-۴ روکش کابل‌ها و عایق‌بندی

روکش کابل‌ها، لاستیک، پلاستیک و سایر بخش‌های آشکار باید در برابر نور فرابنفش، آب، روغن و گریس مقاوم باشند.

۱۰-۳-۵ نشانه‌گذاری

هر مجموعه الکترونیکی باید دارای نشان دائمی با شماره نسخه^۲ یکتا برای ارجاع آسان باشد. فهرستی از مجموعه‌های الکترونیک شامل شماره نسخه، باید توسط سازنده به عنوان بخشی از سیستم مدیریت نسخه قابل اطمینان، به روزرسانی شود.

1-Excitation
2-Version

۴-۱۰ نرم افزار

۱-۴-۱۰ سیستم عامل^۱

مسئول کدهای کامپیوتری برای کنترل و عملیات کنترل باید در حافظه غیرفرار^۲ ذخیره شوند. همچنین تمام ثابت‌های محاسبه شارش و پارامترهای ورودی کاربر باید در حافظه غیرفرار (یا حافظه‌ای با یک باطری پشتیبان^۳) ذخیره شوند.

باید بتوان تمام ثابت‌ها و پارامترها را در زمان کارکرد کنترل تصدیق کرد. مجموع مقایسه‌ای^۴ سیستم عامل یا ثبت رویداد^۵ باید فراهم شود تا تصدیق شود که تغییرات غیرمجاز در سیستم عامل انجام نشده است. مجموع مقایسه‌ای و نسخه سیستم عامل باید در گزارش‌های کالیبراسیون ذکر شود. بند ۱-۴-۱۰ تنها الزام برای کنترل‌هایی که جهت استفاده در انتقالی که مبنای مالی دارند، است.

۲-۴-۱۰ ناپیوستگی

چون کنترل فراسوت یک کنترل الکترونیک است، ممکن است سیستم عامل باعث وارد شدن ناپیوستگی محاسباتی شارش شود، به طور مثال تنظیمات سطح. بنابراین سیستم عامل باید به طریقی طراحی شود که در آن از ناپیوستگی محاسبات شارش، اجتناب شود.

۳-۴-۱۰ نشانه‌گذاری و مدیریت نسخه

سازنده باید سابقه تمام نسخه‌های سیستم عامل شامل شماره سریال نسخه، تاریخ بازبینی، مدل‌های کنترل قابل کاربری و بازبینی‌های برد مدار و شرح تغییرات سیستم عامل اجرا شده به وسیله آن‌ها یا نماینده آن‌ها را نگهداری کند.

شماره بازبینی سیستم عامل، تاریخ بازبینی، شماره سریال یا مجموع مقایسه‌ای برای بازرسی تراشه^۶ سیستم عامل، صفحه نمایش یا پورت ارتباطات دیجیتال، باید در دسترس باشد.

سازنده می‌تواند سیستم‌عامل ارتقاء یافته را برای هر زمان ارائه کند تا عملکرد کنترل ارتقا یابد یا خصوصیات اضافی را افزون سازد. سازنده باید به کاربر اطلاع دهد که آیا بازبینی سیستم عامل بر درستی کنترل شارش کالیبره شده تاثیر دارد.

-
- 1- Firmware
 - 2- Non-volatile memory
 - 3- back-up
 - 4- Check-sum
 - 5- Event log
 - 6-Chip

۴-۴-۱۰ توابع بازرسی و تصدیق

باید بتوان پارامترهای چیدمان اندازه‌گیری شارش به‌کار رفته توسط سیستم‌های الکترونیک را مشاهده و چاپ کرد به طور مثال ثابت‌های کالیبراسیون، ابعاد کنتور، دوره متوسط زمانی و آهنگ نمونه برداری. این تمهیدات باید فراهم شده تا از تغییر تصادفی یا غیرقابل کشف پارامترهایی که بر عملکرد کنتور تاثیر می‌گذارند، جلوگیری کند. تمهیدات مناسب شامل سوئیچ قابل آب‌بندی یا انشعاب فرعی^۱ یا تراشه حافظه فقط خواندنی قابل برنامه‌ریزی^۲ دائمی با مجموع مقایسه‌ای قابل تصدیق یا هشدار ثبت رویداد است. برای هر رویداد با کنتور فراصوت (کالیبراسیون، تعمیر و غیره)، یک فهرست کامل پارامتر قبل و بعد از رویداد باید در محل اندازه‌گیری قابل دسترس باشد.

وقتی خروجی آهنگ شارش نامعتبر نشان داده می‌شود، یک "خروجی نامعتبر" وضعیت هشدار باید فراهم شود. خروجی‌های وضعیت هشدار ممکن است شامل موارد زیر باشند:

۱- هشدار: وقتی یکی از چندین پارامتر آگاه‌ساز برای یک مدت زمان معنی‌داری از شرایط عادی خارج شود.

۲- قصور جزئی: وقتی یک یا چند مسیر فرا صوت چندتایی، غیرقابل استفاده باشد.

بند ۴-۴-۱۰ تنها الزام برای کنتورهایی که جهت استفاده در انتقالی که مبنای مالی دارند، است.

۵-۴-۱۰ ورودی برای عیب‌یابی

به عنوان حداقل، اندازه‌گیری‌های زیر باید برای اهداف عیب‌یابی فراهم شوند:

الف- سرعت متوسط شارش محوری غیرخطی در میان کنتور؛

ب- سرعت شارش برای هر مسیر فرا صوت (یا معادل برای ارزیابی پروفایل سرعت شارش)؛

پ- سرعت صوت در طول مسیر فرا صوت؛

ت- سرعت متوسط صوت؛

ث- میانگین بازه زمانی؛

ج- درصد پالس‌های مورد قبول برای هر مسیر فرا صوت؛

چ- نسبت سیگنال به نوفه^۳ و کنترل بهره^۴؛

ح- وضعیت و نشانگرهای کیفیت اندازه‌گیری؛

خ- نشانگر هشدار و قصور؛

د- سرعت متوسط شارش محوری خطی، اختیاری است.

کنتور باید امکاناتی برای ذخیره این مقادیر در فایل داده، داشته باشد.

1-Jumper

2- Programmable read-only memory chip

3- Signal-to-noise ratio

4- Gain control

برخی توابع نیاز به استفاده از ابزارهای^۱ اضافی دارند.

۱۰-۵ تعویض اجزا

اگر نتوان ترانسدیوسرها، قطعات الکترونیک و نرم افزار را بدون تغییر معنی‌دار در عملکرد کنتور جابجا یا جایگزین کرد (به طور مثال در ویژگی تجدیدپذیری)، کنتور باید دوباره کالیبره شود (به بند ۹-۶ مراجعه شود). وقتی این چنین اجزایی مجبور به تعویض هستند، شامل روش‌های اجرایی که استفاده می‌شود، امکان مکانیکی، الکتریکی یا سایر اندازه‌گیری‌ها و تنظیمات که باید مشخص شود. هر تغییر قسمت بدون کالیبراسیون مجدد کنتور ممکن است منجر به عدم قطعیت اضافی شود که باید توسط سازنده مشخص شود. اگر قسمت‌ها با نسخه‌های جدیدتر یا مختلف جایگزین می‌شوند، مزایا و معایب آن‌ها باید مشخص شود. سازنده باید یک سیستم مدیریت نسخه قابل اطمینان را فراهم کند.

۱۰-۶ تعیین چگالی و دما

۱۰-۶-۱ چگالی

اگر الزامی برای تبدیل شارش حجم به شارش جرم یا شارش حجم در شرایط استاندارد وجود داشته باشد، چگالی مایع باید تعیین شود.

چگالی مایع به صورت زیر تعیین می‌شود:

الف- اندازه‌گیری مستقیم؛

ب- محاسبه فشار، دما و ترکیب مایع؛

ج- اندازه‌گیری استنباطی^۲.

مشروط بر اینکه الزامات عملکرد رعایت شوند، (به بند ۵ مراجعه شود) یک مقدار ثابت چگالی، ممکن است به کار رود.

۱۰-۶-۲ اندازه‌گیری دما

هر وسیله اندازه‌گیری دما نباید بر عملکرد کنتور فراصوت تاثیر بگذارد؛ ترموول بهتر است در پایین دست کنتور فراصوت نصب شود. اگر کنتور فراصوت دو سویه باشد توصیه می‌شود ترموول در ۱۵D بالادست کنتور فراصوت قرار داشته باشد.

وسيله اندازه‌گیری دما هم باید طوری باشد که دمای نماینده اندازه‌گیری شده در کنتور را ارائه دهد. این امر خصوصاً در زمانی که حجم یا جرم استاندارد نیاز است، اهمیت زیادی دارد.

۱۱ شیوه^۱ عملیاتی

۱-۱۱ کلیات

این بند مستقیماً برای کاربر است تا مطمئن شود که وقتی کنتور فراصوت یکبار در سرویس است، به برآورده ساختن الزامات عملکردی بعد از نصب ادامه می‌دهد.

در مقایسه با دیگر کنتورها، کنتور فراصوت می‌تواند اطلاعات عیب‌یابی توسعه‌یافته را تحویل دهد که از طریق آن‌ها می‌توان کارکرد کنتور را تصدیق کرد. به خاطر قابلیت‌های عیب‌یابی توسعه‌یافته، این استاندارد ملی از اضافه شدن و استفاده از دستگاه‌های عیب‌یابی خودکار به جای بررسی‌های کیفی که نیاز به نیروی کاری مفرط دارند، طرفداری می‌کند.

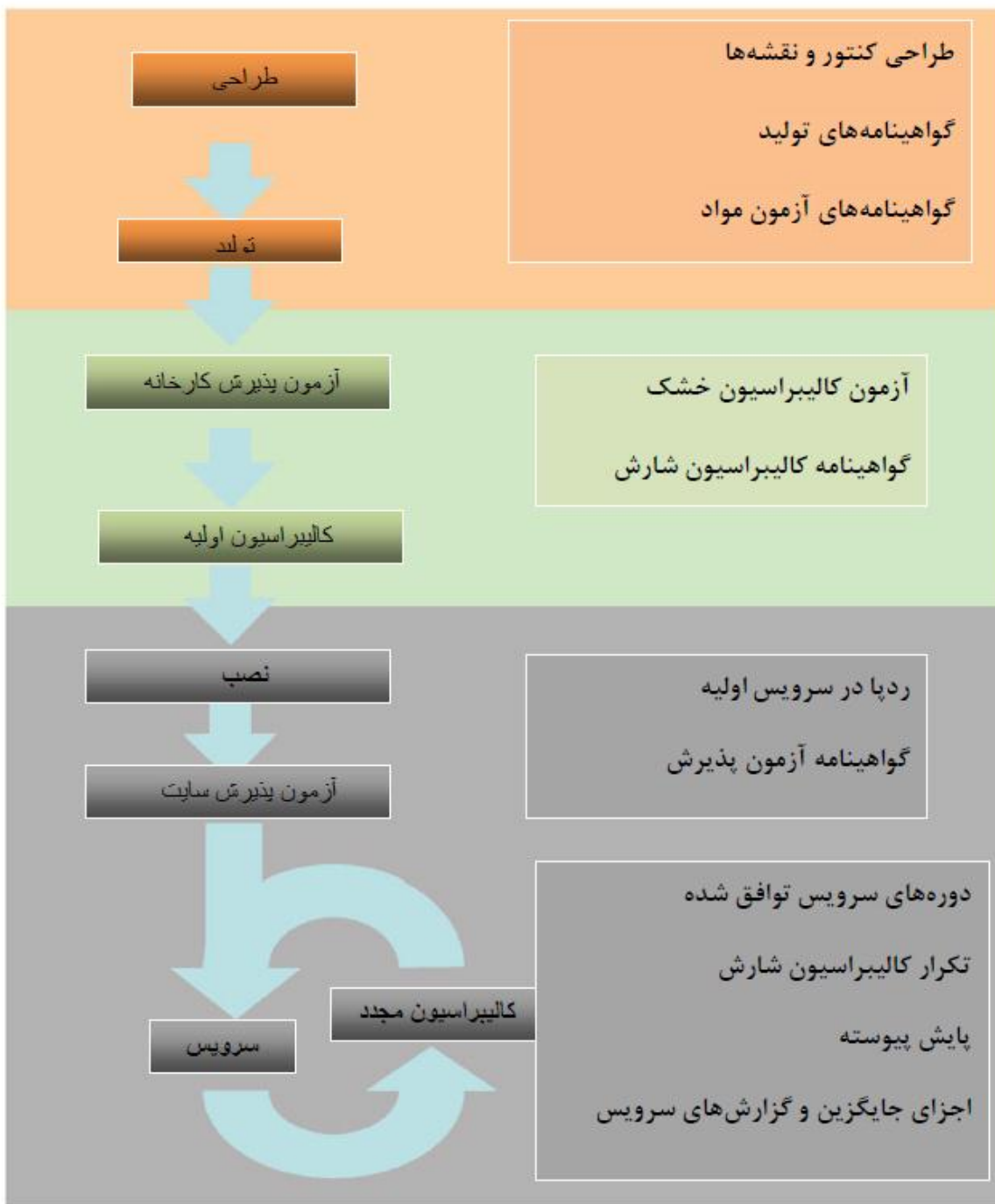
برای کاربرد در جاهایی که ریسک مالی زیاد با توقع درستی بالا همراه باشد، لازم است تا برخی روش‌های اجرایی عیب‌یابی پیشرفته و تسلسل ممیزی^۲ در بسته گواهی‌کردن مجدد^۳ وجود داشته باشند.

سیستم‌های اطلاعاتی عیب‌یابی اختیاری یا برنامه‌های عیب‌یابی در اطلاعات پایه کامپیوتر یا سیستم کنترلی قرارداد شده تا تصدیق پیوسته کارکرد کنتور فراصوت را فراهم کند.

۱۱-۲ فرایند ممیزی

مستندات راهنمای پرونده‌های تسلسل ممیزی و مشخصات راهنمای کنتور فراصوت در کل دوره عمر آن، در شکل ۶ نشان داده شده است.

1- Practice
2- Audit trail
3- Re-certification package



شکل ۶- تسلسل ممیزی

تسلسل ممیزی شامل برخی یا همه فرایندهای زیر است:

الف- ساخت؛

ب- آزمون پذیرش کارخانه؛

پ- کالیبراسیون؛

ت- عملیات میدانی و پایش مبتنی بر شرایط؛

ث- کالیبراسیون مجدد.

مستندات ایجاد شده توسط فرایندهای بالا عبارتند از:

۱- گواهینامه‌های تولید؛

۲- گواهینامه‌های آزمون؛

۳- گواهینامه‌های کالیبراسیون؛

۴- گواهینامه‌ها یا گزارش‌های تغییر پارامتر؛

۵- گواهینامه‌ها یا گزارش‌های جایگزینی اجزا؛

۶- گزارش‌های بازرسی.

نشانه‌های مشخصه از اندازه‌گیری و داده‌های عیب‌یابی که در بند ۱۰-۴-۵ مشخص شده‌اند، نتیجه گرفته می‌-

شود:

- ردپاهای^۱ سرعت صوت؛

- روندهای تنظیم بهره و سایر داده‌های عیب‌یابی؛

- نتایج مقایسه داخلی؛

- پرونده‌های ثبت وقایع.

۱۱-۳ عیب‌یابی‌های عملیاتی

۱۱-۳-۱ سرعت صوت

۱۱-۳-۱-۱ کلیات

وقتی ترکیب مایع، دما و فشار اندازه‌گیری می‌شود، سرعت صوت مرجع را می‌توان با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کرد. برای آب و سایر مایعاتی که داده‌های درست^۲ سرعت صوت آن‌ها در دسترس است، سرعت صوت، نه تنها یک ابزار عالی برای پایش کنتور شارش مایع فرا صوت همچنین سایر اجزای سیستم مانند انتقال‌دهنده دما است.

سرعت صوت با کنتور فراصوت اندازه‌گیری شده و "سرعت صوت اندازه‌گیری شده" به وسیله موارد زیر تحت تاثیر قرار می‌گیرد:

1- footprint
2- Accurate

- الف- مایع؛
- ب- فشار (وابستگی اندک)؛
- پ- دما؛
- ت- هندسه مقطع اندازه‌گیری؛
- ث- اندازه‌گیری زمان عبور (به وسیله کنتور).

۱۱-۳-۱-۲ مقایسه سرعت صوت مطلق

اگر هم سرعت صوت اندازه‌گیری شده و سرعت صوت مرجع در دسترس باشند آن‌ها ممکن است مقایسه مطلق شوند.

تفاوت‌های بین سرعت صوت اندازه‌گیری شده و سرعت صوت مرجع ممکن است، موارد زیر را نشان دهد:

- الف- تعیین آسنکرون^۱ سرعت صوت اندازه‌گیری شده و سرعت صوت مرجع ناشی از آنالیز عقب ماندگی زمانی^۲؛
- ب- سوء کارکرد: کنتور فراصوت، اندازه‌گیری دما؛

ج- رسوبات در ترانسدیوسر(ها) یا بدنه کنتور که طول مسیر را تغییر می‌دهند.

تکنیک‌های آماری ممکن است به پایش سرعت صوت اندازه‌گیری شده و سرعت صوت مرجع در زمان اضافی، کمک کند.

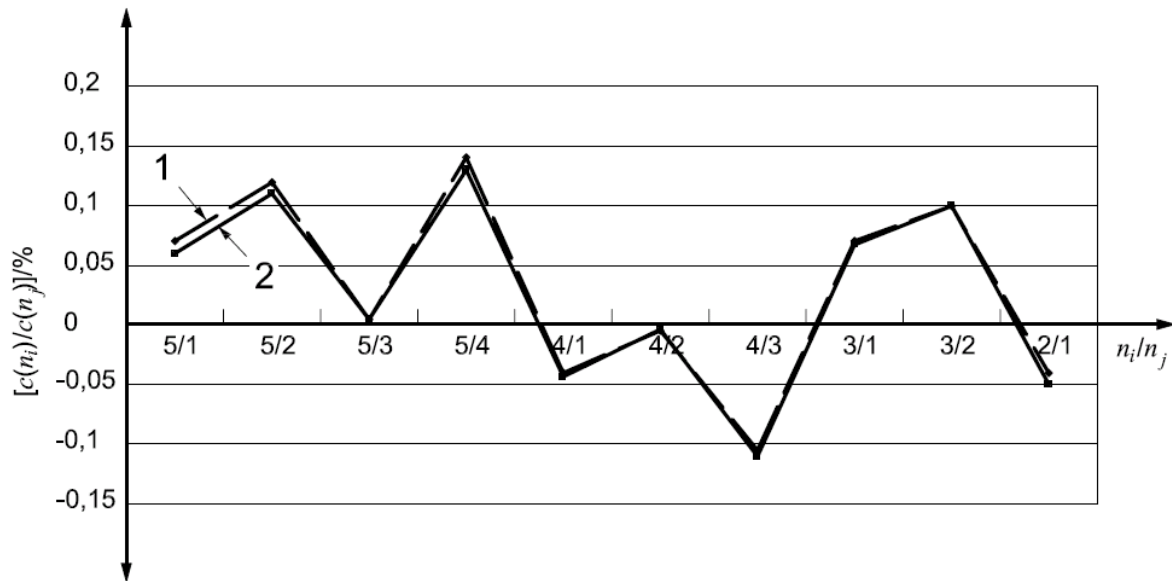
۱۱-۳-۱-۳ مقایسه سرعت نسبی صوت، ردپا

کنتور فراصوت‌هایی با دو یا چند مسیر را می‌توان با مقایسه مقادیر سرعت صوت در هر مسیر مورد پایش قرار داد که این مقایسه نسبی است. مزایای آن عبارتند از:
- اندازه‌گیری را می‌توان تحت شرایط شارش اجرا کرد.

- محاسبات را می‌توان به صورت خودکار، به عنوان بخشی از بسته عیب‌یابی، انجام داد.

مقایسه ممکن است به صورت گرافیکی، مانند "ردپا" نمایش داده شود. به طور مثال در شکل ۷، ردپای ۵ مسیر در کنتور شارش فراصوت در مایع نشان داده شده است که انحراف نسبی اندازه‌گیری شده در روش اجرایی پیش‌بینی تئوری و کالیبراسیون شارش را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، همه انحراف‌های نسبی مختلف سرعت صوت در مسیرهای متفاوت، نشان داده شده است. انحراف نسبی براساس شماره‌های مسیر، شماره‌دار شده‌اند، ۵/۱ به معنی سرعت صوت مسیر ۵ تقسیم بر سرعت صوت مسیر ۱ است و غیره.

1-Asynchronous
2- Time lag



راهنما:

n_i	شناسه‌گذاری مسیر (۵ و ۱۰۰۰ و ۱)
$C(n_i)$	سرعت صوت در مسیر n_i
$[C(n_i)/C(n_j)]$	انحراف نسبی در نسبت سرعت صوت
۱	روش اجرایی پیش‌بینی تئوری
۲	کالیبراسیون شارش

شکل ۷- رد پا، نسبت مدت تعیین شده با روش پیش‌بینی تئوری و مدت کالیبراسیون شارش در امکانات کالیبراسیون

این فقط یک مثال است. توجه کنید که می‌توان نمودارهای مختلفی را با توجه به چیدمان کنتور ایجاد کرد و به عنوان رد پا، به کار برد.

تغییر در شکل ردپا، در گذشت زمان، هم نشان‌دهنده نقص کارکرد مسیر کنتور فراصوت است که پتانسیل اندازه‌گیری اشتباه را ایجاد می‌کند. ردپاهایی از آزمون پذیرش کارخانه، به منظور پایش تغییرات رفتار کنتور ممکن است کالیبراسیون شارش و میدان نیز مقایسه شوند

۱۱-۳-۲ نسبت‌های سرعت

سرعت‌های مسیر منفرد کنتور روابط منحصر به فردی دارند که منعکس کننده پروفایل شارشی است که به وسیله چیدمان لوله ایجاد می‌شود، غیر از سرعت‌های کم یا عدد رینولدز پایین، این روابط با گذشت زمان در شرایط عملیاتی عادی کنتور تغییر معنی‌داری نمی‌کند و در خط به عنوان ابزار عیب‌یابی پیش، است.

۱۱-۳-۳ سایر پارامترها

اگرچه سرعت صوت یکی از مهمترین پارامترهای به کار برده شده در تصدیق است اما پارامترهای بیشتری وجود دارند که می‌توان آن‌ها را پیش کرد تا از عملکرد بهینه آن‌ها اطمینان حاصل کنیم و ترکیب آن‌ها به عنوان مبنای سیستم کارشناسی به کار رود.

۱۱-۴-۱ تسلسل ممیزی طی عملیات، مقایسه داخلی و بازرسی

۱۱-۴-۱-۱ بررسی‌های مقایسه‌ای داخلی (با چندین کنتور متوالی)

اگر کنتور فراصوت با کنتور دیگری به صورت متوالی عمل کند (به طور مثال از طریق نصب سریالی دائمی یا نصب سریالی کوتاه مدت)، خروجی و پارامترهای کلیدی هر کنتور برای اثبات توافق بین کنتورها، را می‌توان پیش و مقایسه کرد. در صورت لزوم، جایی که ۱۰٪ تجهیزات اضافی به عنوان بخشی از طراحی سیستم فراهم شده است، یکی از کنتورها را می‌توان جهت بررسی کنتور، تخصیص داد که فقط برای فعالیت مقایسه‌ای وارد سرویس شود.

جایی که تمهیداتی برای کنتورهای فراصوت ایجاد می‌شود تا به صورت متوالی عمل کنند، چه به صورت دائمی یا دوره‌های کوتاه مدت، تفاوت‌های بین کنتورها باید در آغاز تایید و همچنین به صورت منظم، طی عملیاتی تصدیق شود و از تفاوت آهنگ شارش حجم تجمیعی^۱، تحت شرایط اندازه‌گیری یا شرایط استاندارد، استفاده - شود. مانند همه موقعیت‌هایی که کنتورهایی با فناوری مشابه برای تصدیق یکدیگر به کار می‌روند، باید پتانسیل خطای حالت مشترک، شناخته شود.

اختلاف در آهنگ شارش حجم تجمیعی را می‌توان براساس محدوده‌های کنترل ایجاد شده برای روش مقایسه‌ای داخلی خاص، ارزیابی کرد. اگر این تفاوت‌ها بیشتر از محدوده کنترل باشند و قبل از اینکه اقدامی انجام شود، اشکالیابی^۲ باید اجرا شود تا تعیین کنیم که کدام کنتور نقص دارد و آیا تاثیرات خارجی، اثری بر عملکرد کنتور-ها دارد.

منبع [۴۲] مثالی از روش کنتور مرجع با دو کنتور فراصوت متوالی شده را ارائه می‌کند.

۱۱-۴-۲ بازرسی‌ها

۱۱-۴-۲-۱ کلیات

پایش بر اساس سطوح داده‌های اندازه‌گیری، باعث مختل شدن کنتور فراصوت نمی‌شود. اما دلایل بسیاری برای انجام بازرسی داخلی بدنه کنتور تحت فشار و ترانسدیوسرهای آن وجود دارد. در مورد ترانسدیوسرهای نوع جایگذاری، آن‌ها برای بازرسی مستقل از شرایط خطوط فرآیند ممکن است، حذف شوند.

۱۱-۴-۲-۲ بررسی‌های شارش صفر

کنتور فراصوت از شارش تولید جدا می‌شود و سرعت مایع نیز بررسی می‌گردد تا تایید شود که ثبت آن پارامتر در تمام مسیرهای فراصوت، صفر است. بررسی شارش صفر، ممکن است فقط در میدان و در صورتی انجام شود که جداسازی کامل و پایداری دمایی حفظ شود. اگر این موارد مورد شک باشد، بازرسی بی‌نتیجه خواهد بود. در صورت امکان کاربر ممکن است تصدیق کند که وقتی مایعی در کنتور شارش ندارد، کنتور فراصوت می‌تواند نزدیک صفر را نیز اندازه بگیرد. در زمان انجام این آزمون، کاربر ممکن است به وسیله مسیر میان‌بر^۱ عمل قطع شارش اندک را انجام دهد و آگاه باشید که اختلاف‌های دمایی کنتور در حین کار، باعث ایجاد جریان‌های جابجایی^۲ دمایی در مایع داخل کنتور می‌شود که کنتور فراصوت ممکن است، آن را به عنوان آهنگ شارش اندازه‌گیری کند. با استفاده از برخی انواع کنتورها، شیب^۳ عمودی سرعت صوت، نشاندهنده شیب دما و مشکلات جابجایی است.

یک اختلاف در صفر ممکن است دال بر یک مشکل بنیادی در کنتور فراصوت باشد یا کاربر ممکن است مایل به اجرای بررسی عیب‌یابی اضافی به صورت بخشی از تکرار روش اجرایی پیش بینی تئوری باشد.

۱۱-۴-۲-۳ بازرسی چشمی

رسوب‌های ناشی از شرایط عادی انتقال مایع مانند گرد و غبار، موم یا ماسه، بر درستی کنتور تاثیر می‌گذارند و باید از آن‌ها اجتناب شود. تعدادی از اثرات، به خاطر زنگ زدگی سطوح داخلی اصلاح نشده یا پوشش داخلی معیوب نیز تجربه شده است. بنابراین توصیه می‌شود تغییرات سطح داخلی و زبری دیواره، با استفاده از روش‌های نوری (چشمی) مانند عیب‌یابی کنتور را پایش کرد. بازه^۴ پایش انتخاب شده بستگی به حساسیت کنتور فراصوت بعلاوه تغییرات مورد انتظار از زبری دیواره است. اگر قطر داخلی کنتور تمیز باشد و علائم ماشین‌کاری اولیه به وضوح قابل رویت باشد، نیاز یا الزامی برای اندازه‌گیری مجدد نیست.

ممکن است قطر داخلی کنتور فراصوت را از نظر آلودگی با خارج کردن کنتور از سرویس یا با استفاده از "ابزار چشمی"^۵ یا وسیله مشابه بازرسی کرد تا مطمئن شویم که ذرات جمع شده تشکیل نمی‌شود یا تغییرات سطح

1- By pass
2- Convection
3- Gradient
4-Interval
5- bore-scope

نهایی بر عملکرد کنتور تاثیر نمی‌گذارد. وسیله بازرسی ممکن است از طریق نقاط فشارسنجی خطی یا پورت‌های بازرسی جهت کاربرد خاص در ماسوره لوله‌ای بالادست و پایین دست مجاور کنتور قابل دسترس باشد. اگر مورد اخیر به کار گرفته شود، باید دقت کنیم تا مطمئن شویم که اختلال‌های محلی در مایع در حال شارش ایجاد نمی‌شود.

۱۱-۵ کالیبراسیون مجدد

۱۱-۵-۱ کلیات

با توجه به پیامدهای عیب‌یابی و مقررات داخلی شرکت یا قواعد تدوین شده توسط مسئولان، ممکن است کنتور فراصوت نیاز به کالیبراسیون مجدد داشته باشد.

۱۱-۵-۲ بازه کالیبراسیون مجدد

بازه بین دو کالیبراسیون مجدد متوالی وابسته به برخی مسائل است از جمله:

الف- تجدیدپذیری طولانی مدت کنتور؛

ب- ریسک تجاری؛

پ- الزامات درستی؛

ت- شرح اطلاعات عیب‌یابی همانطور که در بندهای ۱۱-۳ و ۱۱-۴ قید شده است.

یک‌بار بازه کالیبراسیون مجدد اولیه به روز شده است، نتایج کالیبراسیون مجدد جدید ممکن است بر طول بازه تاثیر گذارد. تکنیک‌های آماری نیز می‌تواند مفید باشد.

۱۱-۵-۳ کالیبراسیون مجدد در عملیات میدانی

۱۱-۵-۳-۱ کلیات

تاثیرات شرایط نصب و عملیات بر کنتور فراصوت را می‌توان با کالیبراسیون کنتور در عملیات میدانی کاهش داد. در کل، الکترونیک به کار گرفته شده در کنتورهای فراصوت مدرن در معرض رانش^۱ معنی‌دار نیستند. به علاوه، ترانسدیوسرها معمولاً از نوع بیرونی هستند یا در محفظه‌ای نصب می‌شوند که اجزاء ترانسدیوسر را از سیال جدا می‌کنند. بنابراین، کالیبراسیون به صورت تابعی از زمان لازم نیست اما ممکن است لازم باشد تاثیرات دیگر بر روی عامل کالیبراسیون را کاهش دهیم. این تاثیرات می‌تواند شامل موارد الف تا پ باشند:

الف- تاثیرات نصب، به طور مثال هیدرولیک‌های بالادست.

اندازه پتانسیل اثرهای نصب را می‌توان با آزمودن عملکرد تعیین کرد (به بند ۹ مراجعه شود).

ب- خصوصیات شاره و مخصوصاً گرانشی متغیر.

این اثر با طراحی کنتور فرق می‌کند. داده‌های کالیبراسیون برای تخمین اثرهای گرانیوی متغیر با استفاده از داده‌های ارائه شده در پیوست ب ممکن است، انجام شود.

پ- خوردگی، فرسایش و رسوب در لوله بالادست یا مقطع اندازه‌گیری لوله.

تغییر سطح لوله بالادست بر K_p تاثیر می‌گذارد. به پیوست ب نگاه کنید. خوردگی، فرسایش و آلودگی مقطع اندازه‌گیری هم باعث تغییر سطح مقطع A و هم عامل‌های هندسه مسیر می‌شود.

کالیبراسیون کنتورهای فراصوت در عملیات میدانی را می‌توان با یکی از روش‌های کلی زیر به دست آورد:

۱- کالیبراسیون مستقیم در مقابل پروور حجمی؛

۲- کالیبراسیون با استفاده از پروور حجمی و کنتور اصلی میانی؛

۳- کالیبراسیون در مقابل یک کنتور اصلی.

در کل، استفاده از روشی که نتایج یک پروور حجمی را درگیر می‌کند منجر به عدم قطعیت کمتری نسبت به یک کنتور اصلی به تنهایی است.

یک کنتور اصلی مستقل^۱ را می‌توان وارد سیستم اندازه‌گیری در مرحله طراحی کرد و سپس به صورت دوره‌ای برای اثبات کنتور(های) در حال خدمت^۲، از آن استفاده کرد. اگر این روش به کار رود، خود کنتور اصلی به صورت دوره‌ای به آزمایشگاه کالیبراسیون برگردانده می‌شود یا سیستم عملیات پرووینگ^۳ سیار را می‌توان برای کالیبراسیون کنتور اصلی به کار برد. وقتی کنتور اصلی به کار می‌رود، باید دقت کنیم تا پتانسیل "خطای مد مشترک"^۴ به حداقل برسد، یعنی بر کنتور در حال خدمت و کنتور اصلی تاثیری برابر داشته باشد. به طور مثال، در کاربردی که امکان شکل‌گیری آلودگی است، کنتور اصلی را می‌توان به طریقی نصب کرد که قابل استفاده در مسیر میان‌بر باشد. هدف از این کار، حفظ کنتور اصلی در شرایط آغازین با استفاده از دوره‌های زمانی کوتاه‌تر یا تمیزکاری دوره‌ای است.

۱۱-۵-۳-۲ پروورها

ممکن است، پروورهای حجمی برای کالیبراسیون کنتورهای فراصوت در عملیات میدانی به کار روند. در گذشته، این وسایل در اصل برای کالیبره کردن کنتورهای مکانیکی، مانند توربینی یا جابجایی مثبت به کار می‌رفتند و بنابراین، مهم است بدانیم که رفتار و الزامات کنتورهای فراصوت ممکن است با یکدیگر فرق کنند. کنتورهای فراصوت، قطعه متحرک ندارند و بنابراین در معرض فرسودگی یا پارگی، مانند کنتور مکانیکی قرار نمی‌گیرند. بنابراین، دلیل فنی وجود ندارد که مشخص کنیم عملیات پرووینگ بهتر است در بازه مشخص زمانی انجام شود. اما عملیات پرووینگ منظم ممکن است در برخی از کاربردها الزامی باشد.

1- Stand- alone
2- Duty meter
3- Proving
4- Common-mode error

برای کنتورهای فراصوت، عملیات پرووینگ می‌تواند باعث کاهش تاثیر پروفایل سرعت، گرانروی و تاثیرات دما - شود. درجه‌ای که در آن کنتور فراصوت تحت تاثیر تغییرات قرار می‌گیرد، وابسته به طراحی کنتور است و می‌توان آن را با آزمون و/ یا آنالیز (به بند ۹ و پیوست ب مراجعه شود) ارزیابی کرد. فراهم کردن عملیات پرووینگ در صورتی مفید است که تغییراتی در شرایط داخلی کنتور مطابق انتظار روی دهد.

کنتورهای زمان عبور فراصوت از سرعت در یک یا چند مسیر نمونه‌گیری کرده و سپس آهنگ شارش حجمی را محاسبه می‌کنند که به نوبت به صورت فرمی در خروجی ارائه می‌شود. به طور نمونه وقتی یک پروور به کار می‌رود، خروجی به شکل جریان پالسی متناسب با حجم است. این حقیقت که چندین گام در اندازه‌گیری و اسباب فرایند خروجی وجود دارد و دقت بیشتری لازم است تا اطمینان حاصل شود که عملیات پرووینگ براساس الزامات کاربردی انجام می‌شود.

در شارش متلاطم، هر نمونه سرعت مسیری که با استفاده از یک کنتور فراصوت ایجاد می‌شود، تحت تاثیر گرداب‌های متلاطم یا چرخه‌های در طول مسیر است که نتیجه آن سهم در زمان گذرا است. این یک خاصیت طبیعی است که در شارش متلاطم رخ می‌دهد و از نظر تکرارپذیری کوتاه مدت، می‌تواند غالب باشد. شرایط شارش می‌تواند خصوصیات تلاطم مسیرهای اندازه‌گیری بالادست را تغییر دهد و بنابراین، اثر مثبت یا منفی بر تکرارپذیری کوتاه مدت دارد.

برای اندازه و طراحی یک پروور حجمی، خصوصیات ترکیبی تلاطم در شارش و طراحی خاص کنتور فراصوت با یکدیگر، سطح تکرارپذیری که می‌توان به آن دست یافت را تعیین می‌کند. در این راستا، اگر حجم کالیبراسیون (و زمان) افزایش یابد، تکرارپذیری آن بهبود می‌یابد.

حجم کالیبراسیون برخی پروورهای حجمی مانند پروورهای پیستونی نسبتاً اندک است. در نتیجه، مهم است تا توجه بیشتری به نمونه‌برداری و آهنگ به روزرسانی به کار گرفته شده در کنتور شارشی، داشته باشیم. به طور مثال، اگر کنتور طوری طراحی شده تا همه نمونه‌برداری، پردازش سیگنال، محاسبات و به روزرسانی خروجی را در چرخه یک ثانیه‌ای انجام دهد، واضح است، استفاده از پرووری با حجم کالیبراسیون عبوری از کنتور در بازه ۰٫۵ ثانیه، نامناسب می‌باشد.

به عنوان یک قاعده کلی، در زمان استفاده از پروور حجمی، آهنگ نمونه باید تا جایی که ممکن است زیاد باشد و همچنین تاخیر اندکی در محاسبه نتیجه و به روزرسانی خروجی، روی دهد. فیلتر کردن یا متوسط‌گیری از خروجی که ممکن است در کاربردهای کنترل فرایند به کار رود، نباید طی کالیبراسیون رخ دهد.

هدف از اجرای یک تعداد عملیات پرووینگ، معتبر ساختن آن از طریق آماری است که متوسط عامل کالیبراسیون به دست آمده، دارای عدم قطعیت سازگار با الزامات کاربردی است. در گذشته، وقتی کنتورهای مکانیکی به کار برده می‌شد، این الزام به قانون ساده‌ای مانند رسیدن به ۵ اجرا کاهش یافته بود و عامل کالیبراسیون بسط یافته^۱ از حداقل به حداکثر، یعنی کمتر از ۰٫۰۵٪ می‌رسید. در این مثال، عدم قطعیت در میانگین تقریباً ۰٫۲۷٪ است. برای کنتورهای فراصوت، رویکرد انعطاف‌پذیرتر بیشتر مفید است تا کاربر بتواند

طراحی یک سیستم و عملیات پرووینگ روال عادی را برای تامین الزامات و کاربرد خاص به روز رسانی کند. فرمول (۲۳) رابطه بین عدم قطعیت در میانگین و U بسط یافته را نشان می‌دهد:

$$U = \frac{t_{95} R^*}{d^* \sqrt{n}} \quad (23)$$

که در آن:

t_{95} مقدار توزیع احتمال t دانشجویی در سطح اطمینان ۹۵٪ و $n-1$ درجه آزادی است.
 R^* گستره یا بسط تکرارپذیری است (یعنی حداکثر عامل کالیبراسیون منهای حداقل آن بر حسب درصد)
 d^* گستره عامل تبدیل انحراف استاندارد برای n نمونه، هر نمونه در این حالت یک اجرا از عملیات پرووینگ است.

این محاسبه را می‌توان با وارد کردن یک گستره در عامل تبدیل عدم قطعیت J به صورت زیر انجام داد:

$$J = \frac{U}{R^*} = \frac{t_{95}}{d^* \sqrt{n}} \quad (24)$$

مقادیر فهرست‌بندی شده J در جدول ۳ برای مقادیر n تا ۵۰ ارائه شده‌اند. به منظور محاسبه گستره مجاز یا بسط یافته برای یک تعداد اجرای ارائه شده، در حالت ساده می‌توان عدم قطعیت لازم را بر مقدار مناسب J تقسیم کرد. به طور مثال، برای عدم قطعیت ۰٫۰۵٪ در ۱۰ اجرا، گستره مجاز یا بسط یافته برابر ۰٫۲۱۴٪ / ۰٫۲۳۴ = ۰٫۰۵ است. در عین حال، اگر ۵ اجرا انجام شود و گستره عامل کالیبراسیون به دست آمده نیز برابر ۰٫۱۱٪ باشد، عدم قطعیت تخمین زده شده با استفاده از $J = ۰٫۵۳۷$ ، برابر ۰٫۰۵۹٪ است.

جدول ۳- عامل تبدیل عدم قطعیت، J

عدم قطعیت هدف در مقدار متوسط، مثال‌ها				گستره عامل تبدیل عدم قطعیت J	تعداد نقاط آزمون
۰/۱۰٪	۰/۰۵٪	۰/۰۳۵٪	۰/۰۲۷٪		
گستره مجاز عامل کالیبراسیون برای عدم قطعیت بالا در مقدار متوسط					
۰/۰۶۸٪	۰/۰۳۴٪	۰/۰۲۴٪	۰/۰۱۸٪	۱/۴۷۷	۳
۰/۱۲۹٪	۰/۰۶۴٪	۰/۰۴۵٪	۰/۰۳۵٪	۰/۷۷۶	۴
۰/۱۸۶٪	۰/۰۹۳٪	۰/۰۶۵٪	۰/۰۵۰٪	۰/۵۳۷	۵
۰/۲۴۰٪	۰/۱۲۰٪	۰/۰۸۴٪	۰/۰۶۵٪	۰/۴۱۷	۶
۰/۲۹۰٪	۰/۱۴۵٪	۰/۱۰۲٪	۰/۰۷۸٪	۰/۳۴۴	۷
۰/۳۳۸٪	۰/۱۶۹٪	۰/۱۱۸٪	۰/۰۹۱٪	۰/۲۹۶	۸
۰/۳۸۴٪	۰/۱۹۲٪	۰/۱۳۴٪	۰/۱۰۴٪	۰/۲۶۱	۹
۰/۴۲۷٪	۰/۲۱۴٪	۰/۱۴۹٪	۰/۱۱۵٪	۰/۲۳۴	۱۰
۰/۴۶۹٪	۰/۲۳۴٪	۰/۱۶۴٪	۰/۱۲۷٪	۰/۲۱۳	۱۱
۰/۵۰۹٪	۰/۲۵۵٪	۰/۱۷۸٪	۰/۱۳۸٪	۰/۱۹۶	۱۲
۰/۵۴۸٪	۰/۲۷۴٪	۰/۱۹۲٪	۰/۱۴۸٪	۰/۱۸۲	۱۳
۰/۵۸۶٪	۰/۲۹۳٪	۰/۲۰۵٪	۰/۱۵۸٪	۰/۱۷۱	۱۴
۰/۶۲۳٪	۰/۳۱۲٪	۰/۲۱۸٪	۰/۱۶۸٪	۰/۱۶۰	۱۵
۰/۶۵۹٪	۰/۳۳۰٪	۰/۲۳۱٪	۰/۱۷۸٪	۰/۱۵۲	۱۶
۰/۶۹۴٪	۰/۳۴۷٪	۰/۲۴۳٪	۰/۱۸۷٪	۰/۱۴۴	۱۷
۰/۷۲۸٪	۰/۳۶۴٪	۰/۲۵۵٪	۰/۱۹۷٪	۰/۱۳۷	۱۸
۰/۷۶۲٪	۰/۳۸۱٪	۰/۲۶۷٪	۰/۲۰۶٪	۰/۱۳۱	۱۹
۰/۷۹۴٪	۰/۳۹۷٪	۰/۲۷۸٪	۰/۲۱۴٪	۰/۱۲۶	۲۰
۰/۹۵۴٪	۰/۴۷۷٪	۰/۳۳۴٪	۰/۲۵۸٪	۰/۱۰۵	۲۵
۱/۰۹۷٪	۰/۵۴۸٪	۰/۳۸۴٪	۰/۲۹۶٪	۰/۰۹۱	۳۰
۱/۲۳۰٪	۰/۶۱۵٪	۰/۴۳۰٪	۰/۳۳۲٪	۰/۰۸۱	۳۵
۱/۳۵۵٪	۰/۶۷۸٪	۰/۴۷۴٪	۰/۳۶۶٪	۰/۰۷۴	۴۰
۱/۴۷۵٪	۰/۷۳۷٪	۰/۵۱۶٪	۰/۳۹۸٪	۰/۰۶۸	۴۵
۱/۵۸۹٪	۰/۷۹۴٪	۰/۵۵۶٪	۰/۴۲۹٪	۰/۰۶۳	۵۰

۱۱-۵-۴ کالیبراسیون مجدد

۱۱-۵-۴-۱ کلیات

کالیبراسیون‌های مجدد در امکانات آزمون تصویب شده، نیاز به خارج کردن کنتور از سرویس و انتقال آن به امکانات آزمون دارد. در صورتی که نیاز به نگهداری محصول باشد، لازم است کنتور یدکی در عملیات میدانی باشد تا قابلیت دستیابی به آن حداکثر شود.

۱۱-۵-۴-۲ جابجایی^۱ کنتور در عملیات میدانی

در عملیات میدانی، روش اجرایی زیر توصیه می‌شود:

الف- پرونده وقایع^۲ را در شرایط شارش (قبل از شارش صفر و شرایط فشار صفر) ثبت کنید؛

ب- قرائت شارش صفر را مانند بند ۱۱-۴-۲-۲ ثبت کنید؛

پ- کنتور فراصوت یا بسته کنتور فراصوت را بردارید؛

ت- به صورت داخلی، کنتور فراصوت و ماسوره‌های کنتور مجاور را مطابق بند ۱۱-۴-۲-۳ بازرسی کنید؛ باید از

آن عکس بگیرید جهت سابقه و نگهداری کنید؛

ث- کنتور فراصوت را با کنتور یدکی، یک قطعه قرقره یا فلانچ کور، جایگزین کنید؛

ج- کنتور فراصوت یا بسته کنتور فراصوت نباید تمیز شود مگر اینکه مقررات ایمنی و سلامتی این امر را الزامی

کرده باشد. اگر پاکسازی انجام می‌شود باید در وقایع ثبت شود؛

چ- کنتور فراصوت را برای حمل و نقل آماده کنید، در صورت امکان، برای جلوگیری از تغییرات زبری دیواره یا

آلودگی، بهتر است کنتور فراصوت با فلانچ کور با نیتروژن یا تکنیک‌های مشابه آن، تحت فشار قرار گیرد.

۱۱-۵-۴-۳ جابجایی کنتور در آزمایشگاه

در آزمایشگاه، روش اجرایی زیر توصیه می‌شود:

الف- بازرسی کنید از کنتور فراصوت، در صورت نیاز از موقعیت عکس بگیرید؛

ب- در صورت امکان، تمیز نکنید؛

پ- کنتور فراصوت را مطابق بند ۸-۳ سوار کنید، اگر کنتور فراصوت قبلا کالیبره شده است، از لوله‌کشی

بالادست مشابه، استفاده کنید (ترجیحا همان ماسوره لوله بالادست، مانند کالیبراسیون اصلی)؛

ت- از تراز بودن آن‌ها مطمئن شوید؛

ث - از تغییر پارامترهای کنتور فراصوت اجتناب کنید، یعنی تنظیمی انجام ندهید؛

ج- اگر کنتور فراصوت قبلا کالیبره شده است، مطابق بند ۸-۳ با استفاده از نقاط آن را، در همان عدد رینولدز

کالیبره کنید.

اگر قرار باشد کنتور فراصوت بهسازی^۳ شود، توصیه می‌شود که کالیبراسیون قبل از بهسازی انجام شود. بعد از

بهسازی، نیازی به کالیبراسیون کامل جدید نیست اما تصدیق باید در حداقل یک آهنگ شارش انجام شود، اگر

آزمون عملکرد مجاز باشد.

1- Handling

2- log file

3- Modified

پیوست الف
(الزامی)
تصحیح دما و فشار

الف-۱ تصحیح دما

برای همه انواع کنتور، تصحیح دمای مربوط به هندسه مرتبط^۱ با کنتور را می‌توان به صورت راه حل تحلیلی مستقیم به دست آورد [۴۱]. به همین خاطر، تصحیح عدم قطعیت بسیار کوچک است و تنها عدم قطعیت‌های مربوط به این تصحیح، عدم قطعیت‌های مربوط به ثابت‌های مواد هستند.

عامل تصحیح شارش ناشی از تغییر دمای بدنه، ΔT به صورت زیر به دست می‌آید:

$$(الف-۱) \quad = (1 + \alpha \Delta T)^3 = (1 + 3\alpha \Delta T + 3(\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3) \frac{q_{v,tru}}{q_{v,meas}}$$

که در آن:

$$\Delta T = T_{op} - T_{cal}$$

α ضریب انبساط دمایی است.

به غیر از موقعیت‌های شدید، $\alpha \Delta T$ بسیار اندک است و فرمول الف-۱ را می‌توان به صورت زیر ساده کرد:

$$(الف-۲) \quad = 1 + 3\alpha \Delta T \frac{q_{v,true}}{q_{v,meas}}$$

یا به صورت اصطلاح تصحیح نسبی بیان می‌شود:

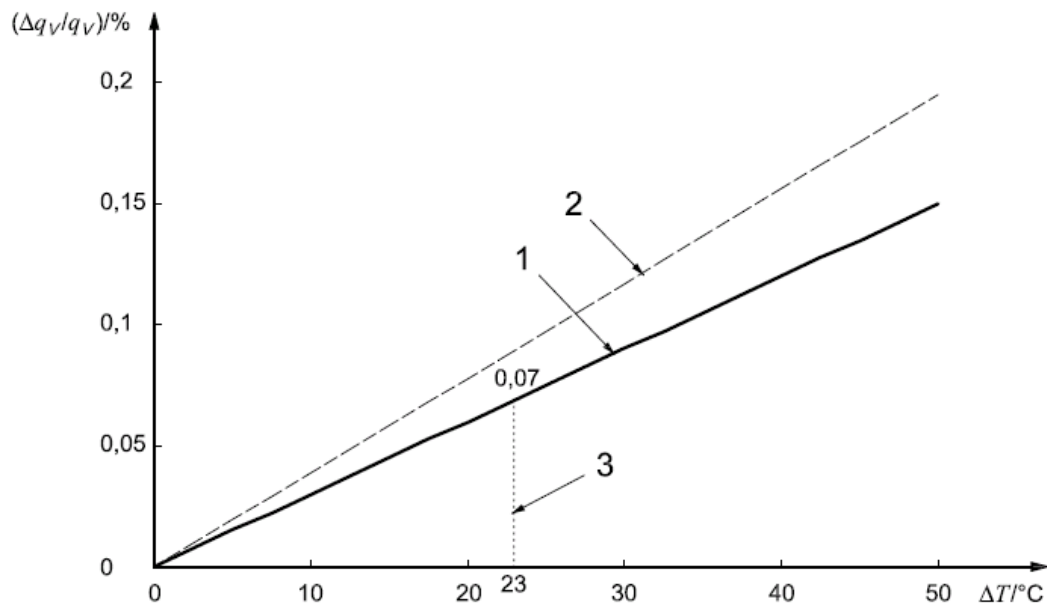
$$(الف-۳) \quad T = 3\alpha \Delta T \left(\frac{\Delta q_v}{q_v} \right)$$

جدول الف-۱ مقادیر نوعی ضریب انبساط دمایی، برای مواد بدنه رایج را ارائه می‌دهد.

جدول الف-۱- ضرایب انبساط دمایی در گستره ۰°C تا ۱۰۰°C

مقادیر، °C	مواد
17×10^{-6}	فولاد ضد زنگ (۳۰۴)
16×10^{-6}	فولاد ضد زنگ (۳۱۶)
10×10^{-6}	فولاد ضد زنگ (۴۲۰)

ارقام ارائه شده در جدول الف-۱ هم فرایند دما و رفتار فولاد را تغییر می‌دهد. برای محاسبات دقیق، توصیه می‌شود که داده‌ها از سازنده گرفته شود. نمایش گرافیکی فرمول الف-۳ در شکل الف-۱ برای دو ماده نشان داده شده است.



راهنما:

اصطلاح تصحیح نسبی	$\Delta q_v/q_v$
اختلاف دما	ΔT
فولاد ضد زنگ ۴۲۰	۱
کربن استیل	۲
نمونه	۳

شکل الف-۱- اصطلاح تصحیح نسبی وابسته به دما برای دو نوع نمونه

شکل الف-۱ را می‌توان برای تخمین سریع درصد تصحیح مورد نیاز برای یک تغییر دما به کار برد. مثال، نقطه مورد نظر در یک تغییر دمایی 23°C ، با یک بدنه فولادی ضد زنگ^۱ که تصحیح $+0.07\%$ را نشان می‌دهد (یعنی کنتور باعث کمتر برآورده شدن شارش تا 0.07% بدون تصحیح می‌شود). اگر ΔT منفی باشد، $\Delta q_v/q_v$ منفی است (شارش اضافه قرائت می‌شود).

الف-۲ تصحیح فشار

الف-۲-۱ کلیات

تصحیح فشار مرتبط با هندسه هم یک فرایند پیچیده و وابسته به طراحی بدنه کنتور است. اتصالات انتهایی و روش اتصال بخش‌های انتهایی به خط است. با توجه به بازار، طراحی‌های متنوع کنتور را می‌توان در سه گروه گسترده طبقه‌بندی کرد:

الف- طراحی‌های بدنه استوانه‌ای جوشکاری شده؛

ب- بدنه‌های کنتور شامل یک لوله با فلانج‌های جوشکاری شده؛

پ- طراحی‌های بدنه کنتور غیراستوانه‌ای، به طور مثال آن‌هایی که بر مبنای ریخته‌گری هستند. زیربنای اسباب تخمین اولیه عامل تصحیح نسبی شارش را برای هر نوع بدنه فراهم می‌کند.

الف-۲-۲- عبارت ساده شده کلی برای هر نوع بدنه

به عنوان مرحله اول در تخمین تاثیرات فشار، عبارت کلی مبنا را می‌توان با این فرض که بدنه کنتور از لوله استوانه‌ای تشکیل شده، به دست آورد. یک تخمینی از حداکثر اصطلاح تصحیح نسبی مورد انتظار ناشی از تغییر فشار بدنه ΔP ، به صورت زیر داده شده است: منبع [۴۲]

$$\text{bodypressure,maximum} = 4 \frac{\Delta r}{r} = 4 \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \sigma \right) \frac{\Delta p}{E} \left(\frac{\Delta q_v}{q_v} \right) \quad (\text{الف-۴})$$

که در آن:

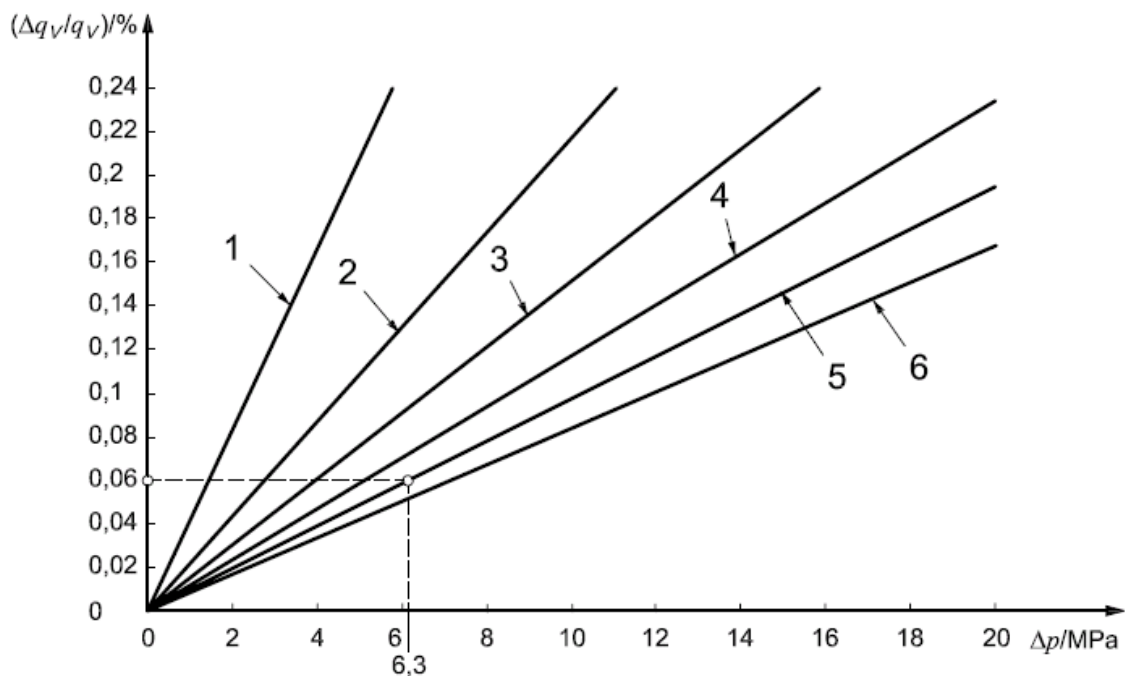
r شعاع داخلی لوله است؛

R شعاع خارجی لوله است؛

σ نسبت پواسون است؛

E مدول یانگ است.

اگر بدنه کنتور شکل نامنظم یا غیراستوانه‌ای داشته باشد (به طور مثال، ممکن است برای حالت بدنه ریخته‌گری شده)، برای اهداف تخمین اولیه، مقدار شعاع خارجی R باید به عنوان نقطه‌ای در نظر گرفته شود که در آن دیواره در نازک‌ترین حالت است، چون بزرگترین تخمین از عامل تصحیح نسبی شارش را ارائه می‌دهد. فرمول (الف-۴) را می‌توان به شکل گرافیکی مانند شکل (الف-۲) برای دامنه مقادیر δ/r ارائه داد، یعنی نسبت ضخامت دیواره به شعاع داخلی.



اصطلاح تصحیح نسبی	$\Delta q_v/q_v$	$\frac{\delta}{r}$	
اصطلاح تصحیح نسبی	$\Delta q_v/q_v$	۰٫۰۵۰	۱
اختلاف فشار	ΔP	۰٫۱۰۰	۲
شعاع لوله داخلی	R	۰٫۱۵۰	۳
ضخامت دیواره لوله	δ	۰٫۲۰۰	۴
		۰٫۲۵۰	۵
		۰٫۳۰۰	۶

شکل الف-۲- حداکثر اصطلاح تصحیح نسبی مربوط به فشار مورد انتظار به نسبت‌های مختلف

$$\delta/r$$

شکل الف-۲ اسبابی سریع برای تخمین حداکثر اصطلاح تصحیح نسبی شارش مورد انتظار ناشی از تغییرات فشار در بدنه را فراهم می‌کند. این شکل برای مواد بدنه با مدول یانگ 2×10^{11} Pa و نسبت پواسون 0.3 رسم شده است. به طور مثال ΔP (۶٫۳MPa) ۶۳ bar که حداکثر اصطلاح تصحیح نسبی ناشی از فشار را برابر 0.06% برای $\delta/r = 0.25$ نشان می‌دهد. اگر ΔP منفی باشد، $\Delta q_v/q_v$ منفی است (کنتور، شارش را بیش از اندازه قرائت می‌کند).

از آنجایی که فرمول الف-۴ و شکل الف-۴ اصطلاح حداکثر تصحیح نسبی مورد انتظار را فراهم می‌کند، اگر آن‌ها تمایل داشته باشند، می‌توانند مستقیماً به الف-۴ مراجعه کنند (با فرض $K_E=K_S=1$) تا اهمیت عامل تصحیح نسبی را تشخیص دهد، بدون آنکه نیازی به اصلاح^۱ تخمین اولیه در الف-۲-۳ و الف-۲-۴ باشد، چون این امر منجر به مقدار کمتر ضریب تصحیح نسبی شارش می‌شود.

الف-۲-۳ اصلاح در تخمین اولیه برای محاسبه طراحی‌های مختلف بدنه‌کن‌تور

انتهای‌های لبه‌دار یا شکل نامنظم بدنه سخت شده با رویکرد لوله استوانه‌ای ساده که در الف-۲-۲ به کار برده شده، مقایسه شده است. در نتیجه، انبساط بدنه و عامل تصحیح نسبی شارش کمتر از مقدار ارائه شده در فرمول الف-۴ و شکل الف-۲ است. به منظور خنثی کردن این تاثیر سختی موضعی بدنه، "عامل تصحیح سبک"^۱ K_S ، برای تخمین تجدید نظر شده اصطلاح تصحیح نسبی شارش، به کار می‌رود:

$$\text{bodypressure,rev1} = K_S \left(\frac{\Delta q_v}{q_v} \right) \text{bodypressure,maximum} \left(\frac{\Delta q_v}{q_v} \right) \quad (\text{الف-۵})$$

K_S کمتر از یک یا برابر با آن است. مقدار K_S را می‌توان برای نوع بدنه مورد نظر به شکل زیر به کار برد:
الف- برای بدنه جوشکاری شده بدون فلانچ، در داخل $2R$ از محل ترانسدیوسر فراصوت، $K_S=1$ است یعنی بدنه کن‌تور مانند یک لوله ساده عمل می‌کند.

ب- برای بدنه کن‌تور دارای فلانچ (به طور مثال دو فلنچ جوشکاری شده به یک لوله) یا برای طراحی جوشکاری شده‌ای که فلانچ‌های مجاور، در داخل $2R$ از موقعیت ترانسدیوسر هستند، مقدار K_S باید مطابق منبع [۴۲] محاسبه شود.

پ- برای بدنه‌های کن‌تور با شکل نامنظم به طور مثال، بدنه‌های ریخته‌گری شده، K_S به صورت زیر به دست می‌آید که مبتنی بر عامل تصحیح نسبی شارش متوسط است:

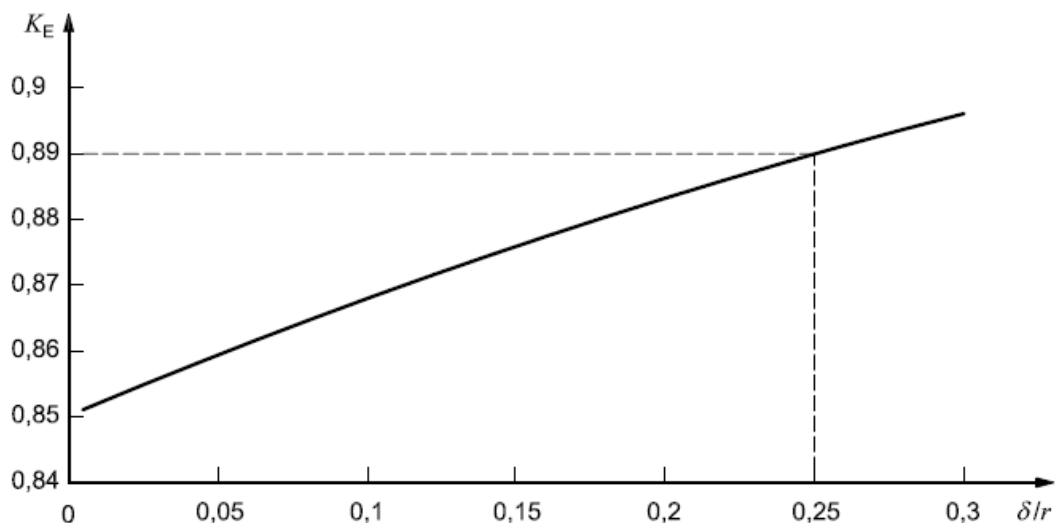
۱- فرمول الف-۴ یا شکل الف-۲ برای به دست آوردن عامل تصحیح نسبی شارش دوم y به کار می‌رود اما مبتنی بر ضخیم‌ترین بخش دیواره است.

۲- K_S به صورت $K_S=0.5 [1+(y/x)]$ که x تخمین اولیه مبتنی بر نازک‌ترین قسمت دیواره است، محاسبه می‌شود.

الف-۲-۴ اصلاح تخمین اولیه برای اثرات بارگذاری و تکیه‌گاه^۲ انتهایی^۳ یا قيود اتصال^۴

فرمول الف-۴ و شکل الف-۲ بر پایه شرایط بدترین حالت برای انبساط شعاعی بدنه است (بدون بارهای انتهایی و انتهاهای آزاد). تاثیر بهترین حالت شرایط (بارهای انتهایی فشار و انتهاهای آزاد) برای حداقل انبساط شعاعی بدنه را می‌توان با وارد کردن "عامل تصحیح انتهایی"^۳ K_E ، محاسبه کرد که در شکل الف-۳ ارائه شده است (برای نسبت پواسون $\nu=0.3$):

-
- 1- Style correction factor
 - 2- Support
 - 3- End
 - 4- Constraint



راهنما:

K_E	ضریب تصحیح انتهایی
R	شعاع داخلی لوله
δ	ضخامت دیواره لوله

$$K_E = -0,1229(\delta/r)^2 + 0,1913(\delta/r) + 0,8501$$

شکل الف-۳- بارگذاری انتهایی و عامل تصحیح تکیه‌گاه K_E

این عبارت از منبع [۴۱] به دست می‌آید. در مثال شکل الف-۳، $K_E = 0,89$ برای $\delta/r = 0,25$ توجه کنید که کوچکترین مقدار K_E برابر $0,85$ است. عامل تصحیح نسبی شارش $\left(\frac{\Delta q_v}{q_v}\right)$ به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\text{bodypressure} = K_E K_S \left(\frac{\Delta q_v}{q_v}\right) \text{bodypressure,maximum} \left(\frac{\Delta q_v}{q_v}\right) \quad (\text{الف-۶})$$

توجه کنید فرمول الف-۶ تخمین حداقل عامل تصحیح نسبی شارش مورد انتظار را ارائه می‌دهد. بنابراین می‌توان از آن در ترکیب با حداکثر عامل تصحیح شارش ($K_E = K_S = 1$) استفاده کرد تا تخمین اولیه در گستره یا رواداری عامل تصحیح نسبی شارش مورد انتظار، به دست آید.

الف-۳ اثر شدید دما و فشار بر پورت‌های ترانسدیوسر

اثر شدید مرکب ترانسدیوسر و پورت ترانسدیوسر، از نظر مقدار کوچکتر از تاثیر آن روی بدنه کنتور است و می‌توان در بیشتر موارد آن را نادیده گرفت. اما برای ارجاع، منبع [۴۲] روش محاسبه ساده‌ای را فراهم می‌کند که شامل تخمین اثرات پورت نیز است. در این فرمول، ضرایب مواد ترانسدیوسر باید معلوم باشد و برای همین باید با سازنده مشورت شود.

الف-۴ تاثیر کلی دما و فشار

تخمین اولیه عامل تصحیح نسبی شارش مرکب ناشی از اختلاف دما و فشار به صورت زیر می باشد:

$$\text{combined, estimate} = \left(\frac{\Delta q_v}{q_v}\right)_{\text{temperature}} + K_E K_s \left(\frac{\Delta q_v}{q_v}\right)_{\text{body pressure, maximum}} \quad (\text{الف-۷})$$

اگر عامل تصحیح نسبی شارش، معنی دار نباشد می توان آن را حذف کرد.

اما اگر عامل تصحیح نسبی شارش، معنی دار باشد و نیاز به تصحیح داشته باشد، محاسبات مفصل بیان شده در الف-۵ باید اجرا شود تا عامل دقیق تر تصحیح شارش به دست آید. اگر محاسبات الف-۲-۳ و الف-۲-۴ در تخمین تاثیر فشار حذف شوند، تخمین را می توان با استفاده از این زیر بندها با تخمین پایین تر، قبل از ارزیابی مجدد که نیاز به محاسبات با جزئیات دارد، تکرار کرد.

الف-۵ روش اجرایی محاسبه با جزئیات

منبع [۴۱]، محاسبات و همچنین شامل اثرات دما و فشار در پورت های ترانسدیوسر و به طور مثال اثرات فرم بدنه بر بدنه کنتور و بارگذاری انتهایی را با جزئیات شرح می دهد.

نسبت بین $q_{v,cal}$ در شرایط کالیبراسیون مرجع و $q_{v,op}$ در شرایط عملیاتی را می توان به صورت عامل تصحیح شارش نوشت (به منبع [۴۲] مراجعه شود)، $\frac{q_{v,op}}{q_{v,cal}}$ به صورت زیر به دست می آید:

$$= \left(\frac{d_{op}}{d_{cal}}\right)^2 \left(\frac{I_{p,op}}{I_{p,cal}}\right)^2 \left(\frac{X_{cal}}{X_{op}}\right) \frac{q_{v,op}}{q_{v,cal}} \quad (\text{الف-۸})$$

که در آن X فاصله محوری ترانسدیوسر است.

جزئیات محاسبات شامل تخمین دو کرانه^۱ است و اجازه می دهد عامل های تصحیح شارش و تصحیح نسبی به صورت فرم های معادل زیر بیان شوند:

$$q_{v,op}/q_{v,cal} = X,XXX X \pm X,XXX X \quad (\text{الف-۹})$$

$$\Delta q_v/q_v = X,XX \% \pm X,XX \% \quad (\text{الف-۱۰})$$

اظهار عامل تصحیح شارش نهایی $q_{v,op}/q_{v,cal}$ تا ۴ رقم اعشار و ضریب تصحیح نسبی شارش $\Delta q_v/q_v$ تا ۲ رقم اعشار نشان دهنده سطح کلی درستی روش محاسبه است. چون همیشه عدم قطعیت در مورد شرایط واقعی بارگذاری انتهایی در کنتور وجود دارد، تخمین های شارش هرگز دقیق تر از مقادیر رواداری ارائه شده در فرمول الف-۹ و الف-۱۰ نمی باشد.

برای بدنه های کنتوری که عموماً شکل استوانه ای داشته و همچنین فلانج های جوشکاری شده از داخل یا متصل شده دارند، منبع [۴۲] یک روش اجرایی ساده بر مبنای محاسبات مستقیم از مشخصه های فیزیکی کنتور و همچنین مثالی از محاسبات مستقیم را ارائه می دهد.

جایی که بدنه کنتور شکل استوانه‌ای ساده نباشد، فلانچ‌ها سهم معنی‌داری را از طول بدنه کلی یا پورت‌هایی که شامل لوله‌های ساده نیستند، دارند. یک مدل جزء محدود^۱ (FE) تخمین درست‌تری از ابعاد بدنه و پورت را فراهم می‌کند و به تبع آن عامل تصحیح نسبی شارش هم از فرمول الف-۸ به دست می‌آید که شامل محاسبات مستقیم از منبع [۴۲] و راهنمای به‌کارگیری مدل جزء محدود در پیش‌بینی اثرات انبساط دمایی و فشاری است. صرف‌نظر از پیچیدگی کنتور، یک مدل جزء محدود از بدنه و پورت می‌تواند استفاده شود. توصیه می‌شود که منبع [۴۲] شامل اثرات اصلاح سبک بدنه و یک اسباب بررسی برای پیش‌بینی ابعاد از مدل جزء محدود تا اطمینان کافی از مدل جزء محدود فراهم شود. فرمول الف-۸ هنوز برای پیش‌بینی عامل تصحیح نسبی شارش در طول هر مسیر بر پایه تغییرات در ابعاد فیزیکی بین شرایط، به کار برده می‌شود.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

تأثیر تغییر زبری

این پیوست کاربر را قادر می‌سازد تا تأثیر تغییر زبری بر عامل کالیبراسیون یا عامل تصحیح پروفایل سرعت را تخمین بزند. این پیوست را نمی‌توان برای محاسبه اثر تغییر زبری در قطر داخلی کاهش یافته کنتور، به کار برد. عامل‌ها در این پیوست با استفاده از قانون لگاریتمی^۱ شناخته شده دیواره محاسبه شده‌اند برای توصیف پروفیل-های سرعت به صورت تابع عامل اصطکاک به کار می‌رود. عامل اصطکاک به کار رفته در اینجا، به صورت تابع زبری نسبی لوله و عدد رینولدز، محاسبه می‌شود و از تابع واضح منتشر شده در منبع [۴۵] استفاده می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مشتق‌گیری از معادلات، خواننده به منبع [۴۶]، مراجعه کند. نتایج طراحی کنتور با دو، سه، چهار و پنج مسیر محاسبه شده است و با استفاده از فاصله‌گذاری^۲ که به خوبی شناخته شده و وزن‌دهی، براساس قوانین انتگرال گوس-ژاکوبی^۳ به کار رفته است (گاهی به نام انتگرال چبیشف^۴ نامیده می‌شود)؛ برای مثال به منبع [۲۸] مراجعه کنید.

جدول فراهم شده در اینجا برای ۵ طراحی کنتور مختلف، ارائه شده و راهنمایی در مورد استفاده از آن‌ها در بالای هر جدول بیان شده است. فرایند برآورد تأثیر تغییر زبری، به صورت زیر است:

الف- ابتدا عدد رینولدز لوله مناسب را برای کاربرد محاسبه کنید (به بند ۴-۶ مراجعه شود)؛

ب- سپس زبری نسبی K_f را برای شرایط اولیه محاسبه کنید (راهنمای محاسبه زبری در زیر داده شده است)؛

پ- مقدار $K_{p-initial}$ را برای شرایط اولیه از جدول مناسب انتخاب کرده و از مقادیر محاسبه شده k_f و Re_D استفاده کنید. اگر لازم است، بین مقادیر جدول درون‌یابی کنید؛

ت- زبری نسبی را در تغییر شرایط لوله، محاسبه کنید؛

ث- مقدار $K_{p-present}$ را برای شرایط موجود، از جدول مناسب انتخاب کرده و از مقادیر محاسبه شده k_f و Re_D استفاده کنید. اگر لازم است، بین مقادیر جدول درون‌یابی کنید؛

ج- درصد انحراف را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید:

$$\text{درصد انحراف} = 100 \times \frac{K_{p_initial} - K_{p_present}}{K_{p_present}}$$

مثال ۱:

- جزئیات کنتور: کنتور با دو مسیر قطری؛
- سیال: آب با گرانشی سینماتیکی $(10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$ cSt ؛
- قطر داخلی لوله: 100 mm ؛
- سرعت شارش: 5 m/s ؛

1- Log law
2- Spacing
3- Gauss- Jacobi integration
4- Chebyshev integration

- زبری اولیه: 0.03 mm ؛
- زبری فعلی: 0.3 mm ؛
- شرایط اولیه: $K_{p_initial} = 0.9465$ ، $K_f/D = 3 \times 10^{-4}$ ، $R_D = 5 \times 10^5$ ؛
- شرایط کنونی: $K_{p_initial} = 0.9328$ ، $K_f/D = 3 \times 10^{-4}$ ، $R_D = 5 \times 10^5$ ؛
- انحراف: $1/47\%$ ؛

مثال ۲:

- جزئیات کنتور: کنتور با چهار مسیر وتری؛
سیال: روغن با گرانروی سینماتیکی 10 cSt ($10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) ؛
قطر داخلی لوله : 200 mm ؛
سرعت شارش : 5 m/s ؛
زبری اولیه : 0.06 mm ؛
زبری کنونی : 0.6 mm ؛
شرایط اولیه: $K_{p_initial} = 0.99803$ ، $K_f/D = 3 \times 10^{-4}$ ، $R_D = 10^5$ ؛
شرایط کنونی: $K_{p_initial} = 0.99765$ ، $K_f/D = 3 \times 10^{-4}$ ، $R_D = 10^5$ ؛
انحراف: 0.38% ؛

جدول (ب-۱) برای کنتورهایی به کار می‌رود که در آن تمام مسیرها از یک قطر در مقطع عرضی می‌گذرند که شامل کنتورهای یک و چند مسیری با ترانسدیوسرهای بیرونی است.

جدول ب-۱- کنتورهای مسیرهای قطری

عدد رینولدز لوله					زبری نسبی
5×10^7	5×10^5	10^5	25×10^3	10^4	
0.9612	0.9516	0.9441	0.9354	0.9278	0.0001
0.9581	0.9511	0.9440	0.9353	0.9278	0.0003
0.9538	0.9495	0.9434	0.9350	0.9276	0.0010
0.9487	0.9465	0.9419	0.9344	0.9273	0.0030
0.9417	0.9407	0.9380	0.9323	0.9260	0.0100
0.9333	0.9328	0.9315	0.9278	0.9230	0.0300
0.9208	0.9206	0.9200	0.9181	0.9151	0.1000

جدول (ب-۲) برای کنتورهایی به کار می‌رود که تمام مسیرهای گذری مقطع عرضی در طول مسیرهایی است که مرکز آن‌ها تقریباً در نیمه راه بین مرکز و دیواره لوله است؛ این امر عموماً شامل طراحی کنتور دو مسیره است.

جدول ب-۲- کنتورهای با مسیرهای وسط شعاع^۱

عدد رینولدز لوله					زبری نسبی
5×10^7	5×10^5	10^5	25×10^3	10^4	
۰٫۹۹۳۷۵	۰٫۹۹۲۱۳	۰٫۹۹۰۸۶	۰٫۹۸۹۳۴	۰٫۹۸۸۰۲	۰٫۰۰۰۰۱
۰٫۹۹۳۲۴	۰٫۹۹۲۰۵	۰٫۹۹۰۸۳	۰٫۹۸۹۳۳	۰٫۹۸۸۰۱	۰٫۰۰۰۰۳
۰٫۹۹۲۵۰	۰٫۹۹۱۷۸	۰٫۹۹۰۷۳	۰٫۹۸۹۲۹	۰٫۹۸۷۹۹	۰٫۰۰۰۱۰
۰٫۹۹۱۶۵	۰٫۹۹۱۲۶	۰٫۹۹۰۴۷	۰٫۹۸۹۱۸	۰٫۹۸۷۹۲	۰٫۰۰۰۳۰
۰٫۹۹۰۴۴	۰٫۹۹۰۲۷	۰٫۹۸۹۸۱	۰٫۹۸۸۸۲	۰٫۹۸۷۷۱	۰٫۰۰۱۰۰
۰٫۹۸۸۹۸	۰٫۹۸۸۹۰	۰٫۹۸۸۶۶	۰٫۹۸۸۰۲	۰٫۹۸۷۱۶	۰٫۰۰۳۰۰
۰٫۹۸۶۷۷	۰٫۹۸۶۷۳	۰٫۹۸۶۶۲	۰٫۹۸۶۲۹	۰٫۹۸۵۷۵	۰٫۰۱۰۰۰

جدول (ب-۳) برای کنتورهایی با مسیرهایی در دو موقعیت وتر به کار می‌رود که یکی از آن‌ها، قطر است. این نوعاً جهت طراحی کنتور با سه مسیر است که یک مسیر روی قطر است و دوتای دیگر با فاصله برابر در طرفین مسیر قطر قرار گرفته‌اند. همچنین برای طراحی‌های چند مسیره دیگر نیز به کار می‌رود که در آن مسیرهای اضافی در روی قطر یا در فاصله برابر از مرکز، به صورت مسیرهای غیرقطری، قرار دارند.

جدول ب-۳- مسیرها در دو موقعیت وتر، از جمله قطر

عدد رینولدز لوله					زبری نسبی
5×10^7	5×10^5	10^5	25×10^3	10^4	
۰٫۹۹۵۹۷	۰٫۹۹۴۹۳	۰٫۹۹۴۱۱	۰٫۹۹۳۱۳	۰٫۹۹۲۲۷	۰٫۰۰۰۰۱
۰٫۹۹۵۶۴	۰٫۹۹۴۸۷	۰٫۹۹۴۰۹	۰٫۹۹۳۱۲	۰٫۹۹۲۲۷	۰٫۰۰۰۰۳
۰٫۹۹۵۱۷	۰٫۹۹۴۷۱	۰٫۹۹۴۰۳	۰٫۹۹۳۰۹	۰٫۹۹۲۲۵	۰٫۰۰۰۱۰
۰٫۹۹۴۶۲	۰٫۹۹۴۳۷	۰٫۹۹۳۸۶	۰٫۹۹۳۰۲	۰٫۹۹۲۲۱	۰٫۰۰۰۳۰
۰٫۹۹۳۸۴	۰٫۹۹۳۷۳	۰٫۹۹۳۴۳	۰٫۹۹۲۷۹	۰٫۹۹۲۰۷	۰٫۰۰۱۰۰
۰٫۹۹۲۸۹	۰٫۹۹۲۸۴	۰٫۹۹۲۶۹	۰٫۹۹۲۲۷	۰٫۹۹۱۷۱	۰٫۰۰۳۰۰
۰٫۹۹۱۴۶	۰٫۹۹۱۴۴	۰٫۹۹۱۳۶	۰٫۹۹۱۱۵	۰٫۹۹۰۸۰	۰٫۰۱۰۰۰

جدول (ب-۴) برای کنتورهایی با مسیرهایی در دو موقعیت وتر به کار می‌رود که هر دو از قطر افست دارند. این نوعی از طراحی کنتور با ۴ مسیر است که یک جفت از مسیرها در یک فاصله از هر طرف مرکز لوله قرار گرفته و

1- Mid- radius paths meters

جفت مسیر دیگر، در فاصله دوم از هر طرف مرکز لوله، واقع شده است. همچنین برای دیگر طراحی‌های چند مسیری به کار می‌رود که در آن تمام مسیرها در فاصله اول یا دوم از مرکز لوله قرار دارند.

جدول ب-۴- مسیرها در دو موقعیت وتر، افست از قطر

عدد رینولدز لوله					زبری نسبی
5×10^7	5×10^5	10^5	25×10^3	10^4	
۰٫۹۹۸۷۱	۰٫۹۹۸۳۷	۰٫۹۹۸۱۱	۰٫۹۹۷۷۹	۰٫۹۹۷۵۱	۰٫۰۰۰۰۱
۰٫۹۹۸۶۰	۰٫۹۹۸۳۵	۰٫۹۹۸۱۰	۰٫۹۹۷۷۹	۰٫۹۹۷۵۱	۰٫۰۰۰۰۳
۰٫۹۹۸۴۵	۰٫۹۹۸۳۰	۰٫۹۹۸۰۸	۰٫۹۹۷۷۸	۰٫۹۹۷۵۱	۰٫۰۰۰۱۰
۰٫۹۹۸۲۷	۰٫۹۹۸۱۹	۰٫۹۹۸۰۳	۰٫۹۹۷۷۵	۰٫۹۹۷۴۹	۰٫۰۰۰۳۰
۰٫۹۹۸۰۲	۰٫۹۹۷۹۸	۰٫۹۹۷۸۹	۰٫۹۹۷۶۸	۰٫۹۹۷۴۵	۰٫۰۰۱۰۰
۰٫۹۹۷۷۱	۰٫۹۹۷۷۰	۰٫۹۹۷۶۵	۰٫۹۹۷۵۱	۰٫۹۹۷۳۳	۰٫۰۰۳۰۰
۰٫۹۹۷۲۵	۰٫۹۹۷۲۴	۰٫۹۹۷۲۲	۰٫۹۹۷۱۵	۰٫۹۹۷۰۳	۰٫۰۱۰۰۰

جدول (ب-۵) برای کنتورهایی با مسیرهایی در سه موقعیت وتر به کار می‌رود که یکی از آن‌ها قطر است. این نوعی از طراحی کنتور با ۵ مسیر است که یک مسیر در روی قطر است، یک جفت از مسیرها در یک فاصله از هر طرف قطر و یک جفت مسیر دیگر هم در فاصله دوم از هر طرف قطر قرار دارد. آن همچنین برای دیگر طراحی‌های چندمسیری که تمام مسیرها بر روی قطر، فاصله اول یا دوم از مرکز لوله هستند، به کار می‌رود.

جدول ب-۵- مسیرها در سه موقعیت وتر از جمله قطر

عدد رینولدز لوله					زبری نسبی
5×10^7	5×10^5	10^5	25×10^3	10^4	
۰٫۹۹۷۶۹	۰٫۹۹۷۱۰	۰٫۹۹۶۶۳	۰٫۹۹۶۰۶	۰٫۹۹۵۵۷	۰٫۰۰۰۰۱
۰٫۹۹۷۵۱	۰٫۹۹۷۰۶	۰٫۹۹۶۶۱	۰٫۹۹۶۰۶	۰٫۹۹۵۵۶	۰٫۰۰۰۰۳
۰٫۹۹۷۲۳	۰٫۹۹۶۹۷	۹۹۶۵۸	۰٫۹۹۶۰۴	۰٫۹۹۵۵۶	۰٫۰۰۰۱۰
۰٫۹۹۶۹۲	۰٫۹۹۶۷۷	۹۹۶۴۸	۰٫۹۹۶۰۰	۰٫۹۹۵۵۳	۰٫۰۰۰۳۰
۰٫۹۹۶۴۷	۰٫۹۹۶۴۰	۹۹۶۲۳	۰٫۹۹۵۸۶	۰٫۹۹۵۴۵	۰٫۰۰۱۰۰
۰٫۹۹۵۹۳	۰٫۹۹۵۹۰	۹۹۵۸۱	۰٫۹۹۵۵۷	۰٫۹۹۵۲۵	۰٫۰۰۳۰۰
۰٫۹۹۵۱۰	۰٫۹۹۵۰۹	۹۹۵۰۵	۰٫۹۹۴۹۲	۰٫۹۹۴۷۲	۰٫۰۱۰۰۰

زبری نسبی (K_r/D) برای جداول با تقسیم مقدار مطلق زبری بر قطر لوله به دست می‌آید. اگر حقیقتاً R_a اندازه-گیری شود، k_r با ضرب کردن R_a در π به دست می‌آید.

- برخی مقادیر زبری نوعی لوله K_r برای راهنمایی، در زیر ارائه شده است:
- لوله فولادی ماشین کاری شده جدید، شیشه، مس، برنج: 0.05 mm ؛
 - لوله فولادی جدید: 0.3 mm ؛
 - فولاد با خوردگی اندک: 0.2 mm ؛
 - لوله چدنی جدید: 0.5 mm ؛
 - لوله بتنی، فولاد شدیداً خورده شده: 2 mm .

پیوست پ

(اطلاعاتی)

مثالی از محاسبات عدم قطعیت

هدف از این پیوست ارائه روش اجرایی کلی شرح داده شده در بند ۶ است که چگونه می‌توان برای مثال‌های عینی به کار برد. تمام محاسبات در اینجا مبتنی بر روش‌های ارائه شده در منبع [۴۳] هستند. جداسازی جدی در بین عدم قطعیت‌های نوع A و B وجود ندارد.

پ-۱ محاسبات عدم قطعیت برای کنتور چندمسیری و تری بدون شکست کالیبره شده

پ-۱-۱ مدل ریاضی

از فرمول‌های (۲۱) و (۱۲)، اندازه‌ده داده می‌شود:

$$q_v = K K_p A \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (\text{پ-۱})$$

$$v_i = \frac{I_{p,i}}{2 \cos \theta_i} \frac{\Delta T_i}{(t_{me-up,i} - t_{o,i})(t_{me-dn,i} - t_{o,i})} = K_{g,i} \frac{\Delta T_i}{(t_{me-up,i} - t_{o,i})(t_{me-dn,i} - t_{o,i})} \quad (\text{پ-۲})$$

K_g عامل هندسی مسیر است که در بند ۶-۲-۵ معرفی شد. برای محاسبه این عدم قطعیت، فرض می‌شود که اختلاف زمان Δt ، در مقایسه با زمان اندازه‌گیری شده بالادست و پایین‌دست، کوچک است. بنابراین می‌توان آن را با زمان گذر متوسط بالادست t_{tr} و پایین‌دست، جایگزین کرد:

$$v_i = K_{g,i} \frac{\Delta T_i}{(t_{me-up,i} - t_{o,i})(t_{me-dn,i} - t_{o,i})} = K_{g,i} \frac{\Delta T_i}{(t_{tr,i} - t_{o,i})^2} \quad (\text{پ-۳})$$

عدم قطعیت‌ها در زمان تاخیر t_0 را می‌توان عدم قطعیت‌ها در زمان گذر در نظر گرفت. در این مورد، می‌توانیم این مساله را بیشتر ساده کنیم و t_{tr} را دوباره تعریف کنیم که شامل تصحیح زمان تاخیر است:

$$v_i = K_{g,i} \frac{\Delta T_i}{t_{tr,i}^2} \quad (\text{پ-۴})$$

فرم ساده شده فرمول (پ-۱) به صورت جدید عبارتند از:

$$q_v = K K_p A \sum_{i=1}^n \left(w_i k_{g,i} \frac{\Delta T_i}{t_{tr,i}^2} \right) \quad (\text{پ-۵})$$

برای ساده سازی، فرض می‌شود که تمام آنها برابر هستند.

$$w_i k_{g,i} \frac{\Delta T_i}{t_{tr,i}^2}$$

اگر چه ممکن است، این امر برای محاسبه شارش واقعی کاملاً اشتباه باشد، اما برای محاسبه عدم قطعیت، این فرض در بسیاری از حالت‌ها، پیامدهای ناچیزی دارد. این امر اجازه ساده سازی بیشتر را می‌دهد:

$$q_v = K K_P A K_g \frac{\Delta t}{t_{tr}} \quad (\text{پ-۶})$$

پ-۱-۲ نتایج حاصل از آزمون‌های عملکرد

فرض کنید که سازنده، داده‌های حاصل از آزمون عملکرد زیر را منتشر کند:

- قطر بیرونی دستگاه: ۲۱۹٫۱ mm

- ضخامت دیواره دستگاه: ۵٫۰ mm

- قطر داخلی دستگاه: $219.1 - 2 \times 5.0 = 209.1$ mm

- ضریب انبساط دما: $17 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ (عدم قطعیت: ۵٪)

- ضریب انبساط فشار: $3 \times 10^{-6} \text{bar}^{-1}$ ($3 \times 10^{-5} \text{MPa}^{-1}$) (عدم قطعیت ۲۵٪)

- عدم قطعیت گسترده امکانات آزمون: ۰٫۰۵٪

کالیبراسیون در شرایط مرجع با استفاده از آب در دمای اتاق در جدول (پ-۱) ارائه شده است. حداکثر آهنگ شارش برابر 0.2 m^3 است (یا $720 \text{ m}^3/\text{h}$ یا سرعت 5.75 m/s).

جدول پ-۱ - کالیبراسیون در شرایط مرجع در آهنگ‌های شارش مختلف

۵٪	۱۰٪	۲۵٪	۴۰٪	۷۰٪	۱۰۰٪	نشانه‌ی شارش
۰٫۰۱۰۲	۰٫۰۱۹۳	۰٫۰۵۱۰	۰٫۰۷۹۳	۰٫۱۵۱	۰٫۱۹۷	آهنگ شارش (مرجع)
۱۰٫۳۳۰۰	۱۰٫۳۳۱۰	۲۰٫۱۸۰۰	۲۰٫۱۷۹۹	۲۰٫۱۸۳۰	۲۰٫۱۷۸۱	حجم مرجع
۱۰٫۳۵۰۷	۱۰٫۳۳۶۲	۲۰٫۱۸۴۰	۲۰٫۱۸۱۹	۲۰٫۱۸۳۰	۲۰٫۱۶۸۰	حجم اندازه‌گیری شده
۱۷٫۵	۱۷٫۵	۱۷٫۴	۱۷٫۴	۱۷٫۳	۱۷٫۲	دما
۰٫۲۰٪	۰٫۰۵٪	۰٫۰۲٪	۰٫۰۱٪	۰٫۰۰٪	-۰٫۰۵٪	انحراف
۰٫۲۹۷	۰٫۵۶۲	۱٫۴۸۵	۲٫۳۰۹	۴٫۳۹۷	۵٫۷۳۷	سرعت
۵۷۷۵۳	۱۰۹۲۷۸	۲۸۸۷۶۷	۴۴۹۰۰۴	۸۵۴۹۷۶	۱۱۱۵۴۳۳	عدد رینولدز

تکرارپذیری ۱۰ اندازه‌گیری، محاسبه شده و در جدول (پ-۲) ارائه شده است.

جدول پ-۲ - نتایج محاسبات تکرارپذیری در آهنگ‌های شارش مختلف

۵٪	۲۵٪	۱۰۰٪	آهنگ شارش
۰٫۱۹٪	۰٫۱۳٪	۰٫۰۹٪	تکرار پذیری
۰٫۰۶٪	۰٫۰۴٪	۰٫۰۳٪	انحراف استاندارد

عدم قطعیت ناشی از افست شارش صفر، 1 mm/s تعیین می‌شود.

تاثیر تداخل سیگنال‌های صوتی و الکتریکی از منابع مرتبط اندازه‌گیری شده، مانند نمودار دامنه انحراف در مقابل سرعت صوت: ۰٫۱٪ از سرعت.

اندازه‌گیری‌ها یک ماه بعد تکرار شد و همه آن‌ها در محدوده ۰/۱٪ (تجدیدپذیری) بود. آزمون‌های اختلال (همانطور که در بند ۹-۶ مشخص شد) نشان می‌دهد که l_{min} برابر $10D$ برای حداکثر انحراف S از ۰/۲٪ و $25D$ برای حداکثر انحراف S از ۰/۱٪ است. تمام اندازه‌گیری‌ها تقریباً در $17.5^\circ C$ و فشار نسبی 3bar (300kPa) انجام شده است.

پ-۱-۳ شرایط نصب

فرض کنید حداکثر سرعت 3.5 m/s ($440\text{ m}^3/\text{h}$) باشد و مایع به کار رفته در نصب، دارای گرانشی سینماتیکی $3 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ باشد. فرض کنید که کنتور در فاصله $15D$ از نزدیک‌ترین اختلال بالادست نصب شده باشد. دما $75^\circ C$ و فشار نسبی 2.4MPa (24 bar) است.

پ-۱-۴ ارزیابی واریانس توزیعی^۱

پ-۱-۴-۱ کلیات

استفاده از فرمول ۱۰ منبع [۴۳] برای فرمول (پ-۶) نتیجه می‌دهد:

$$u^2(q_v) = c_k^2 u^2(k) + c_{k_p}^2 u^2(k_p) + c_A^2 u^2(A) + c_{k_g}^2 u^2(k_g) + c_{t_{tr}}^2 u^2(t_{tr}) + c_{\Delta t}^2 u^2(\Delta t) \quad (\text{پ-۷})$$

در اینجا مناسب‌تر است که با عدم قطعیت نسبی کار کنیم. در این صورت فرمول بالا به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$= c_k^2 \frac{k^2}{q_v^2} \frac{u^2(k)}{k^2} + c_{k_p}^2 \frac{k_p^2}{q_v^2} \frac{u^2(k_p)}{k_p^2} + c_A^2 \frac{A^2}{q_v^2} \frac{u^2(A)}{A^2} + c_{k_g}^2 \frac{k_g^2}{q_v^2} \frac{u^2(k_g)}{k_g^2} \frac{u^2(q_v)}{q_v^2} + c_{\Delta t}^2 + c_{t_{tr}}^2 \frac{t_{tr}^2}{q_v^2} \frac{u^2(t_{tr}) \Delta t^2}{t_{tr}^2} \frac{u^2(\Delta t)}{\Delta t^2} \quad (\text{پ-۸})$$

با استفاده از مشتق‌های جزئی:

$$C_k \frac{k}{q_v} = c_{k_p} \frac{k_p}{q_v} = c_A \frac{A}{q_v} = c_{k_g} \frac{k_g}{q_v} = c_{\Delta t} \frac{\Delta t}{q_v} = 1 \quad (\text{پ-۹})$$

$$= -2c_{t_{tr}} \frac{t_{tr}}{q_v} \quad (\text{پ-۱۰})$$

پ-۱-۴-۲ عدم قطعیت‌های عامل کالیبراسیون $u(k)$ ، سطح مقطع عرضی $u(A)$ و عامل هندسی $u(k_g)$ فرض کنید که دستگاه بین اعداد رینولدز 25×10^3 و 25×10^4 کالیبره شده باشد. فرض کنید که عدم قطعیت گسترده از امکانات کالیبراسیون برابر ۰/۰۵٪ با سطح اطمینان ۹۵٪ است. نزدیک‌ترین اختلال بالادست در امکانات کالیبراسیون در $40D$ است. فرض کنید که دمای کالیبراسیون، $35^\circ C$ و فشار نسبی هم (700KPa) 7bar است.

عدم قطعیت استاندارد امکانات کالیبراسیون از عدم قطعیت گسترده محاسبه می‌شود:

$$= 0.05\% \frac{u(qv,ref)}{qv,ref} \Rightarrow \frac{U_{95}(qv,ref)}{2qv,ref} = 0.025\% \frac{U_{95}(qv,ref)}{qv,ref} \quad (\text{پ-۱۱})$$

فرض می‌شود که سطح مقطع عرضی و هندسه مسیر بعد از کالیبراسیون تغییر نمی‌کند. بنابراین عدم قطعیت-های $u(A)$ و $u(K_g)$ با کالیبراسیون حذف می‌شوند.

فشار و دما بر سطح مقطع عرضی و هندسه مسیر تاثیر می‌گذارد. تاثیر شارش هم مشخص است و می‌توان آن را تصحیح کرد. عدم قطعیت این تصحیح را می‌توان به صورت عدم قطعیت اضافی در عامل کالیبراسیون K تلقی کرد.

عامل کالیبراسیون K وابسته به فشار و دما است. تصحیح برای انبساط بدنه ناشی از فشار و دما در پیوست الف، ارائه شده است:

$$K_{pT} = (1+3\alpha\Delta T)(1+\beta\Delta p) \quad (\text{پ-۱۲})$$

عدم قطعیت استاندارد مرکب با تصحیح دما و فشار به صورت زیر به دست می‌آید:

$$u^2(k_{pT}) = \left(\frac{\partial K_{pT}}{\partial \Delta T}\right)^2 u^2(\Delta T) + \left(\frac{\partial K_{pT}}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial K_{pT}}{\partial \Delta p}\right)^2 u^2(\Delta p) + \left(\frac{\partial K_{pT}}{\partial \beta}\right)^2 u^2(\beta) \quad (\text{پ-۱۳})$$

$$u^2(K_{pT}) = (3\alpha)^2 u^2(\Delta T) + (3\Delta T)^2 u^2(\alpha) + \beta^2 u^2(\Delta p) + \Delta p^2 u^2(\beta) \quad (\text{پ-۱۴})$$

با فرض عدم قطعیت استاندارد ۵٪ در α و عدم قطعیت ۲۵٪ در β و محاسبه ΔT و Δp از اختلاف بین کالیبراسیون و شرایط نصب شده و عدم قطعیت‌های منطقی در اندازه‌گیری‌های فشار و دما، داریم:

$$\alpha = 17 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}, \beta = 3 \times 10^{-6} \text{ bar}^{-1} (3 \times 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}), \Delta T = 40 \text{ K}, \quad (\text{پ-۱۵})$$

$$\Delta p = 17 \text{ bar} (1.7 \text{ MPa}), u(\alpha) = 8.5 \times 10^{-7} \text{ K}^{-1}, u(\beta) = 7.5 \times 10^{-7} \text{ bar}^{-1} (7.5 \times 10^{-6} \text{ MPa}^{-1}),$$

$$U(\Delta T) = 0.5 \text{ K}, u(\Delta p) = 0.25 \text{ bar} (25 \text{ kPa})$$

$$K_{pT} = (1+3\alpha\Delta T)(1+\beta\Delta p) = 1.00209$$

$$u^2(K_{pT}) = (3\alpha)^2 u^2(\Delta T) + (3\Delta T)^2 u^2(\alpha) + \beta^2 u^2(\Delta p) + \Delta p^2 u^2(\beta) \quad (\text{پ-۱۶})$$

$$u(K_{pT}) = 0.011\%$$

بنابراین عدم قطعیت استاندارد مرکب عامل کالیبراسیون برابر است با:

$$= \frac{u^2(k_{pT})}{k_{pT}^2} + \frac{u^2(qv,ref)}{qv,ref^2} = \frac{u(k)}{k} = 0.027\% \frac{u^2(K)}{k^2} \quad (\text{پ-۱۷})$$

پ-۱-۴-۳ عدم قطعیت پروفایل سرعت $u(K_p)$

عدم قطعیت ناشی از پروفایل شارش از نتایج آزمون آشفتگی آزمون عملکرد، گرفته می‌شود. کنترل در امکانات کالیبراسیون، در فاصله 40D بعد از یک اختلال، نصب می‌شود. از آزمون‌های عملکرد می‌دانیم که این امر باعث افزایش عدم قطعیت گسترده تقریباً ۱٪ و عدم قطعیت استاندارد به اندازه نصف آن می‌شود. در نصب واقعی،

فاصله تا اولین اختلال در بالادست، برابر 15D است. این امر باعث تاوان^۱ اضافی ۰٫۱٪ (نصف تعداد آزمون‌های عملکرد) می‌شود:

$$= \sqrt{(0.05\%)^2 + (0.1\%)^2} = 0.11\% \frac{u(k_p)}{k_p} \quad (\text{پ-۱۸})$$

پ-۱-۴-۴ عدم قطعیت اختلاف‌های زمان $u(\Delta t)$

عدم قطعیت اختلاف‌های زمان منفرد، اغلب به صورت صریح به دست نمی‌آید بلکه از تکرارپذیری به دست آمده در آزمون‌های عملکرد و اندازه‌گیری تاثیر منابع مرتبط، به دست می‌آید. برای محاسبات در بند پ-۱-۴-۴، مقدار بدترین حالت ۰٫۰۶٪ برای انحراف استاندارد، در آزمون تکرارپذیری در نظر گرفته می‌شود. چون این امر شامل مجموع مسیرهای صوتی مختلف است، نمی‌توان تنظیمی برای ارتباط بین مسیرهای منفرد که نیاز است، انجام داد. تاثیر منابع مرتبط که اندازه‌گیری شده، در یک دامنه ۰٫۱٪ است. بنابر این عدم قطعیت واقعی تقریباً نصف این مقدار است. در نتیجه:

$$= (0.06\%)^2 + (0.05\%)^2 = \frac{u(\Delta T)}{\Delta t} = 0.078\% \frac{u^2(\Delta T)}{\Delta T^2} \quad (\text{پ-۱۹})$$

علاوه بر این، عدم قطعیت ناشی از افست از صفر نیز وجود دارد. این عدم قطعیت در ۱ mm/s توسط سازنده مشخص شده است. این سهم‌ها می‌توانند در عدم قطعیت یکی شوند $u(\Delta t)$ ، اما مناسب نیست. آن می‌تواند بهترین بیان عدم قطعیت در شارش باشد، q_v :

$$= \frac{\pi D^2 u(v_0) u(q_v)}{4 \times q_v} \quad (\text{پ-۲۰})$$

در ۰٫۵ m/s، عدم قطعیت نسبی در شارش (بر مبنای ۱ mm/s که توسط سازنده مشخص شده است)، به مقدار ۰٫۲٪ می‌رسد و در ۵ m/s مقدار آن برابر با ۰٫۲٪ است.

توجه کنید که افست شارش صفر به سادگی در دستگاه نصب شده تعیین نمی‌شود. این محاسبات از افست صفر تعیین شده توسط کارخانه، استفاده می‌کند. اگر افست شارش صفر دوباره بعد از نصب اندازه‌گیری شود، لازم است که شارش (هم شارش متوسط و شارش ناشی از گردابه باقیمانده و جابجایی) در نصب به طور معنی داری کمتر از عدم قطعیت ۱ mm/s که توسط سازنده مشخص شده است، باشد. در بیشتر موارد، نمی‌توان این مساله را ضمانت کرد.

پ-۱-۴-۵ عدم قطعیت‌های سیستم اندازه‌گیری زمان گذر $u(t_{tr})$ و زمان تاخیر $u(t_0)$

سازنده، عدم قطعیت نسبی اندازه‌گیری زمان گذر را برابر 10^{-5} تعیین کرده است که برابر است:

$$= 0.001\% \frac{u(t_{tr})}{t_{tr}} \quad (\text{پ-۲۱})$$

در بسیاری از موارد، زمان سنجی از همه مسیرها از منبع یکسان به دست می‌آید، در آن حالت عدم قطعیت‌ها $u(t_{tr})$ از همه مسیرها کاملاً مرتبط هستند.

فرض کنید سازنده، عدم قطعیت در زمان تاخیر را مشخص کرده است: $u(t_0) = 0.1 \mu s$ این عدم قطعیت قبل از عدم قطعیت زمان گذر است. زمان‌های گذر این دستگاه ارائه نشده است. زمان گذر را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$c=1300 \text{ m/s}, I_p=1.5D=1.5 \times 209.1 \text{ mm}=313.65 \text{ mm} \quad (\text{پ-۲۲})$$

$$T_{tr} = I_p I_c \mu s, u(t_{tr}) = 10^{-5} \times t_{tr} = 0.00241 \mu s$$

واضح است این مقدار خیلی کوچکتر از $0.1 \mu s$ است. بنابراین این عدم قطعیت نسبی به قرار زیر بدست می‌آید:

$$u(t_{tr})/t_{tr} = 0.1 \mu s / 241 \mu s = 0.041\% \quad (\text{پ-۲۳})$$

این عدم قطعیت نیاز به ملاحظات دقیق‌تر دارد. زمان‌های تاخیر معمولاً فقط یک بار اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار در فرمول (پ-۲) ثابت است و تمام انحراف‌ها به ثابت کنتور منتهی می‌شود. اگر این دستگاه دقیقاً با سرعت صوت مشابه در مدت کالیبراسیون به کار رود، انحرافی وجود ندارد. چون این امر معمولاً روی نمی‌دهد، مقداری انحراف باقیمانده وجود دارد اما کمتر از مقدار داده شده در (پ-۲۱) است. بنابراین این (پ-۲۱) هم یک تخمین اضافه از عدم قطعیت است.

پ-۱-۵ عدم قطعیت استاندارد مرکب

جدول (پ-۳) نتایج محاسبات قبلی را خلاصه می‌کند.

پ-۲ محاسبه عدم قطعیت برای یک کنتور با ترانس‌دیوسرهای سوار شده بیرونی

ج-۲-۱ مدل ریاضی

از فرمول‌های (۲۱) و (۱۹)، اندازه‌دهه به وسیله رابطه زیر داده می‌شود:

$$q_v = K K_p A v_i \quad (\text{پ-۲۴})$$

$$v_i = \frac{v_t}{\cos \theta_t} \frac{\Delta t}{t_{ms-up} + t_{ms-dn} - 2t_0} = k_g \frac{\Delta t}{t_{ms-up} + t_{ms-dn} - 2t_0} \quad (\text{پ-۲۵})$$

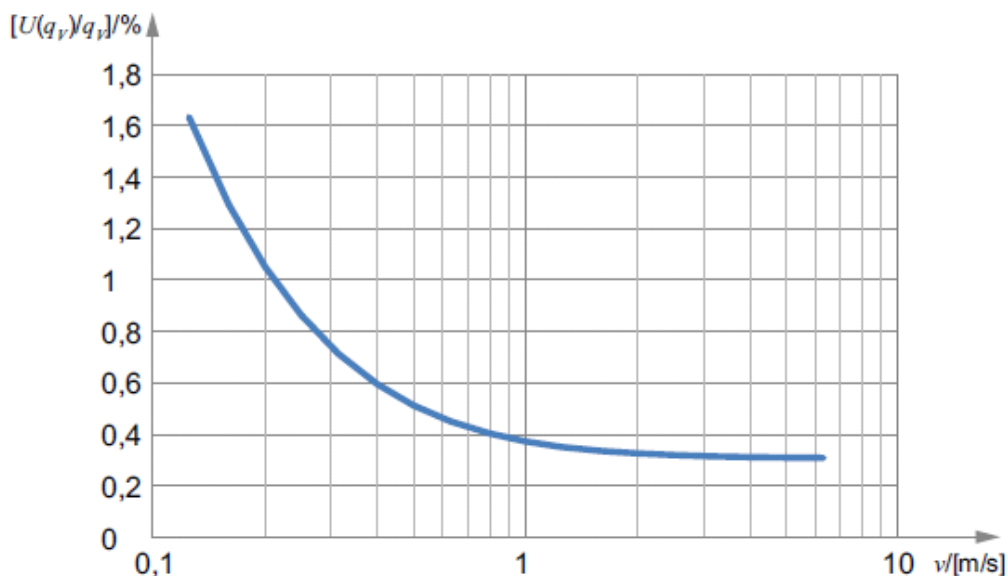
این کنتور روی لوله‌های موجود در عملیات میدانی نصب شده است. بنابراین، شارش آن کالیبره نشده است. عامل کالیبراسیون $k=1$ است و عدم قطعیت $u(K)=0$ ، K_g عامل هندسه مسیر است که در بند ۶-۲-۵ معرفی شده است. برای محاسبه این عدم قطعیت، فرض می‌شود که اختلاف زمان Δt در مقایسه با زمان‌های اندازه‌گیری بالادست و پایین‌دست، اندک است. بنابراین می‌توان آن‌ها را با زمان گذر متوسط t_{tr} در بالادست و پایین‌دست، جایگزین کرد:

$$v_i = k_g \frac{\Delta t}{2(t_{tr} - t_0)} \quad (\text{پ-۲۶})$$

جدول پ ۳- عدم قطعیت استاندارد مرکب

توزیع		عامل های حساسیت		مقادیر عدم قطعیت استاندارد		منبع عدم قطعیت	مولفه عدم قطعیت استاندارد $u(x_i)$
Δ m/s	$\cdot \Delta$ m/s	$c_i \frac{x_i}{q_v}$	$\frac{c_i}{q_v}$	$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$u(x_i)$		
						کالیبراسیون	$u(K)$
۰٫۰۲۵٪	۰٫۰۲۵٪	۱		۰٫۰۲۵٪		امکانات کالیبراسیون	$u(q_{v,ref})$
۰٫۰۰۳٪	۰٫۰۰۳٪		3α		۰٫۵ K	اختلاف دما	$u(\Delta T)$
۰٫۰۱۰٪	۰٫۰۱۰٪	$3\alpha\Delta T$		۵٪		ضریب انبساط دمایی	$u(\alpha)$
۰٫۰۰۰٪	۰٫۰۰۰٪		β		۰٫۲۵ bar (۲۵ kPa)	اختلاف فشار	$u(\Delta p)$
۰٫۰۰۱٪	۰٫۰۰۱٪	$\beta\Delta p$		۲۵٪		ضریب انبساط فشار	$u(\beta)$
۰	۰	۱		۰		سطح مقطع عرضی	$u(A)$
۰	۰	۱		۰		عامل هندسی	$u(K_g)$
۰٫۱۱۲٪	۰٫۱۱۲٪	۱		۰٫۱۱٪		پروفایل سرعت	$u(K_p)$
۰٫۰۵۸٪	۰٫۰۷۵٪	۱		۰٫۰۷۵٪		اختلاف زمان (تکرارپذیری)	$u(\Delta t)$
۰٫۰۲۰٪	۰٫۲۰۰٪		$\frac{\pi D^2}{4 \times q_v}$		۱ mm/s	افست درشارش صفر	$u(v_0)$
۰٫۰۸۳٪	۰٫۰۸۳٪	۲		۰٫۴۱٪		زمان انتقال	$u(t_{tr})$
۰٫۱۵۵٪	۰٫۲۵۶٪	$\frac{u(q_v)}{q_v} = \sqrt{\sum_j \left[\frac{c_j}{q_v} u(x_j) \right]^2}$					
$\alpha = 1.7 \times 10^{-5} K^{-1}$		$\beta = 3 \times 10^{-6} \text{ bar}^{-1}$ ($3 \times 10^{-5} \text{ MPa}^{-1}$)		$\Delta T = 40 K$		$\Delta P = 17 \text{ bar}$ (1.7 MPa)	
$C_{cal} = 1300 \text{ m/s}$				$D = 0.2091 \text{ m}$			

شکل (پ-۱) - عدم قطعیت گسترده (K=۲) در سراسر گستره سرعت های میانگین



راهنما:

عدم قطعیت گسترده در آهنگ شارش حجمی
سرعت مسیر

$U(\Delta q_v/q_v)$
 v

شکل پ-۱- درصد عدم قطعیت گسترده در آهنگ شارش حجمی برای یک مثال از کنتور چند مسیره و تری بدون شکست کالیبره شده

پ-۲-۲ نتایج حاصل از آزمون‌های عملکرد

فرض کنید که سازنده، داده‌های آزمون عملکرد را مانند زیربند داده شده، منتشر کند. تکرارپذیری ۱۰ اندازه-گیری، محاسبه شده و در جدول (پ-۴) ارائه شده است.

جدول پ-۴ - نتایج محاسبه تکرارپذیری در آهنگ‌های شارش مختلف

آهنگ شارش	۱۰۰٪	۲۵٪	۵٪
تکرارپذیری	۰٫۱۹٪	۰٫۲۵٪	۰٫۳۸٪
انحراف استاندارد	۰٫۰۶٪	۰٫۰۸٪	۰٫۱۲٪

عدم قطعیت ناشی از افست شارش صفر، به صورت ۵ mm/s مشخص می‌شود. تاثیر تداخل سیگنال‌های صوتی و الکتریکی از اندازه‌گیری منابع مرتبط، مانند دامنه انحراف اندازه‌گیری وابسته به تغییر سرعت صوت : ۰٫۱٪ سرعت. اندازه‌گیری‌ها یک ماه بعد تکرار شدند و همگی در داخل ۰٫۱٪ (تجدیدپذیری) بودند.

آزمون‌های اختلال بعد از زانویی^{۹۰°} (در بند ۹-۵ مشخص شده است) که I_{min} برابر $1.0D$ ، برای حداکثر انحراف (S) ۲٪ و $3.0D$ برای حداکثر انحراف (S) ۰٫۸٪، را نشان می‌دهد.
 بنابراین بر پایه آزمون مشخص شده در بندهای ۳-۹ و ۴-۹، عدم قطعیت گسترده عامل هندسی برابر ۰٫۶٪، $U(K_g)=0.3\%$ و $k=2$ محاسبه شده است. عدم قطعیت استاندارد برابر $U(K_g)=0.3\%$ است.
 تمام اندازه‌گیری‌ها تقریباً در $17.5^\circ C$ و فشار نسبی $3 \text{ bar} (30.0 \text{ kPa})$ انجام شده است.

پ-۲-۳ شرایط نصب

مقادیر زیر در این مثال به کار رفته‌اند:

- قطر خارجی لوله: ۲۱۹٫۱ mm
- ضخامت دیواره لوله: ۵٫۰ mm
- سیال: آب
- سرعت مسیر: ۳٫۵ m/s
- دمای شاره: $35^\circ C$
- فشار شاره: ۳ bar (۳۰۰ Kpa)
- شریط شارش ورودی: $3.0D$ بعد از یک زانویی 90° ؛

پ-۲-۴ ارزیابی واریانس‌های توزیعی

پ-۲-۴-۱ کلیات

به کارگیری فرمول ۱۰ از منبع [۴۳] در فرمول‌های (پ-۲۴) و (پ-۲۶) با $K=1$ بر طبق بند (پ-۲-۱) نتیجه می‌دهد:

$$u^2(q_v) = c_{k_p}^2 u^2(k_p) + c_A^2 u^2(A) + c_{k_g}^2 u^2(k_g) + c_{t_{tr}}^2 u^2(t_{tr}) + c_{t_0}^2 u^2(t_0) + c_{\Delta t}^2 u^2(\Delta t) \quad (\text{پ-۲۷})$$

در اینجا مناسب‌تر است با عدم قطعیت‌های نسبی کار کنیم. در این حالت، فرمول تبدیل می‌شود به:

$$= c_{k_p}^2 \frac{k_p^2}{qv^2} \frac{u^2(k_p)}{k_p^2} + c_A^2 \frac{A^2}{qv^2} \frac{u^2(A)}{A^2} + c_{k_g}^2 \frac{k_g^2}{qv^2} \frac{u^2(k_g)}{k_g^2} + \frac{u^2(qv)}{qv^2} + c_{t_{tr}}^2 \frac{t_{tr}^2}{qv^2} \frac{u^2(t_{tr})}{t_{tr}^2} + c_{t_0}^2 \frac{t_0^2}{qv^2} \frac{u^2(t_0)}{t_0^2} + c_{\Delta t}^2 \frac{\Delta t^2}{qv^2} \frac{u^2(\Delta t)}{\Delta t^2} \quad (\text{پ-۲۸})$$

حساسیت‌های نسبی برابرند با:

$$= c_A \frac{A}{qv} = c_{k_g} \frac{k_g}{qv} = c_{\Delta t} \frac{\Delta t}{qv} = 1 c_{k_p} \frac{k_p}{qv} \quad (\text{پ-۲۹})$$

$$= \frac{-t_{tr}}{t_{tr}-t_0} = -1 c_{t_{tr}} \frac{t_{tr}}{qv} \quad (\text{پ-۳۰})$$

$$= \frac{t_0}{t_{tr}-t_0} C_{t_0} \frac{t_{t_0}}{qv} \quad \text{پ-۳۱} \quad (31)$$

در ادامه، مشارکت‌های عدم قطعیت منفرد از فرمول (پ-۲۸) ارزیابی شده است.

پ-۲-۴-۲ عدم قطعیت در پروفایل سرعت $u(K_p)$

عدم قطعیت ناشی از پروفایل شارش از نتایج آزمون آشفتگی به دست می‌آید. کنتور در $30D$ بعد از زانویی 90° نصب می‌شود. از آزمون‌های عملکرد، می‌دانیم که این امر باعث می‌شود، عدم قطعیت گسترده 0.8% و عدم قطعیت استاندارد، نصف این مقدار اضافه شود:

$$= \frac{u(k_p)}{k_p} 0.4\% \quad \text{پ-۳۲} \quad (32)$$

پ-۳-۴-۲ عدم قطعیت سطح مقطع عرضی $u(A)$

سطح مقطع لوله از قطر بیرونی و ضخامت دیواره به دست می‌آید:

$$A = \frac{\pi}{4} (D_o - 2\delta)^2 \quad \text{پ-۳۳} \quad (33)$$

قطر بیرونی و ضخامت دیواره، زمانی اندازه‌گیری می‌شود که کنتور بر روی لوله نصب می‌شود. عدم قطعیت سطح مقطع عرضی $u(A)$ وابسته به عدم قطعیت قطر بیرونی $u(D_o)$ و ضخامت دیواره $u(\delta)$ است. (تاثیر دما و فشار ناچیز است چون هندسه آن در فشار و دمای عملیاتی اندازه‌گیری می‌شود. کاربرد فرمول ۱۰ منبع [۴۳] در فرمول (پ-۳۳) نتیجه می‌دهد:

$$\begin{aligned} u(A)^2 &= \left(\frac{\partial A}{\partial D_o}\right)^2 u(D_o)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial \delta}\right)^2 u(\delta)^2 \\ &= C_{A,D_o}^2 u(D_o)^2 + C_{A,\delta}^2 u(\delta)^2 \\ &= C_{A,D_o}^2 \frac{D_o^2}{A^2} \frac{u(D_o)^2}{D_o^2} + C_{A,\delta}^2 \frac{w^2}{A^2} \frac{u(\delta)^2}{\delta^2} \frac{u(A)^2}{A^2} \end{aligned} \quad \text{پ-۳۴} \quad (34)$$

حساسیت‌های $C_{A,i}$ به صورت زیر داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial D_o} &= \frac{2A}{D_o - 2\delta} = \frac{2A}{D_o}; & C_{A,D_o} &= \frac{D_o}{A} = 2C_{A,D_o} \\ \frac{\partial A}{\partial \delta} &= \frac{-4A}{D_o - 2\delta} = \frac{-4A}{D_o}; & C_{A,\delta} &= \frac{\delta}{A} = \frac{-4\delta}{D_o} \quad C_{A,\delta} \end{aligned} \quad \text{پ-۳۵} \quad (35)$$

جدول پ-۵ ارزیابی فرمول (پ-۳۴) را خلاصه می‌کند. عدم قطعیت استاندارد ضخامت دیواره $u(\delta) = 0.1 \text{ mm}$ فرض می‌شود. عدم قطعیت استاندارد قطر بیرونی هم برابر $u(D_o) = 0.5 \text{ mm}$ فرض می‌شود.

جدول پ-۵- عدم قطعیت سطح مقطع عرضی $u(A)$

توزیع	عامل حساسیت	مقدار عدم قطعیت استاندارد	منبع عدم قطعیت	مولفه عدم قطعیت استاندارد
$\frac{c_i x_i}{A} \frac{u(x_i)}{x_i}$	$c_i \frac{x_i}{A}$	$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$u(x_i)$	$u(x_i)$
۰٫۴۶٪	۲	۰٫۲۳٪	5×10^{-4}	قطر خارجی $u(D_o)$
۰٫۱۸٪	$-4 \frac{\delta}{D_o} = 0.11$	۱٫۶۷٪	10^{-4}	ضخامت دیواره $u(\delta)$
۰٫۴۹٪	$\frac{u(A)}{A}$	عدم قطعیت استاندارد		

پ-۲-۴-۴ عدم قطعیت عامل هندسی، $u(K_g)$

عدم قطعیت استاندارد عامل هندسی براساس نتایج آزمون عملکرد، برابر $U(K_g) = 0.3\%$ است (به بند پ-۲-۲ مراجعه شود). فرض می‌شود وابستگی دمایی K_g ، به وسیله کنتور خنثی می‌شود. عدم قطعیت باقیمانده ناشی از دما، در این مثال ناچیز است چون نصب در نزدیکی دمای محیط صورت می‌گیرد.

پ-۲-۴-۵ عدم قطعیت اختلاف زمان، $u(\Delta t)$

عدم قطعیت اختلاف زمان از تکرارپذیری به دست آمده در آزمون‌های عملکرد و از اندازه‌گیری تاثیر منابع مرتبط نتیجه می‌شود. به علاوه، افست از صفر باعث اضافه شدن یک سهم در عدم قطعیت می‌شود. به طور مثال، در بدترین حالت مقدار $u_{rep}(\Delta t) / \Delta t = 0.12\%$ است که برای انحراف استاندارد در آزمون تکرار پذیری فرض شده است. تاثیر منابع مرتبط در یک دامنه 0.2% اندازه‌گیری شده است. عدم قطعیت استاندارد $u_{CS}(\Delta t) / \Delta t$ تقریباً نصف این مقدار است. افست از صفر به صورت $u_o(\Delta t) = 5 \text{ mm/s}$ مشخص شده است که آن 0.14% عدم قطعیت گسترده و 0.07% عدم قطعیت استاندارد سرعت مسیر $v_i = 3/5 \text{ m/s}$ است. بنابراین:

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{u_{rep}^2(\Delta t)}{\Delta t^2} + \frac{u_{CS}^2(\Delta t)}{\Delta t^2} + \frac{u_o^2(\Delta t)}{\Delta t^2}} = \sqrt{(0.12\%)^2 + (0.1\%)^2 + (0.07\%)^2} \frac{u(\Delta t)}{\Delta t} \quad (\text{پ-۳۶}) \\ &= 0.17\% \frac{u(\Delta t)}{\Delta t} \end{aligned}$$

پ-۲-۴-۶ عدم قطعیت زمان تاخیر $u(t_o)$

زمان تاخیر شامل مجموع دو برابر زمان گذر در گوه جفت شونده ترانسدیوسر t_t و دو برابر زمان گذر در دیواره لوله است t_w . زمان گذر در دیواره لوله به وسیله کنتور از طول مسیر و سرعت صوت در دیواره لوله محاسبه می‌شود. طول مسیر از سرعت صوت و عامل هندسی K_g با استفاده از قانون اسنل به دست می‌آید.

تأثیر دما بر عدم قطعیت، ناچیز فرض شده است چون دمای شاره نزدیک دمای محیط است. بنابراین فرمول زیر صدق می‌کند:

$$t_0 = 2t_t + 2t_w = 2t_t + \frac{2t_w}{c_w} = 2t_t + \left(2\delta / c_w \sqrt{1 - \frac{c_w^2}{k_g^2}} \right) \quad (\text{پ-۳۷})$$

عدم قطعیت زمان تاخیر $u(t_0)$ وابسته به عدم قطعیت‌های تاخیر در گوه جفت شونده $u(t_t)$ ، عامل هندسی $u(K_g)$ ، ضخامت دیواره لوله $u(\delta)$ و سرعت صوت در دیواره لوله $u(c_w)$ است. کاربرد فرمول ۱۰ از منبع [43] در فرمول (پ-۳۷) نتیجه می‌دهد:

$$u(t_0)^2 = \left(\frac{\partial t_0}{\partial t_t} \right)^2 u(t_t)^2 + \left(\frac{\partial t_0}{\partial K_g} \right)^2 u(K_g)^2 + \left(\frac{\partial t_0}{\partial \delta} \right)^2 u(\delta)^2 + \left(\frac{\partial t_0}{\partial c_w} \right)^2 u(c_w)^2 \quad (\text{پ-۳۸})$$

$$= c_{t_0, t_t}^2 u(t_t)^2 + c_{t_0, K_g}^2 u(K_g)^2 + c_{t_0, \delta}^2 u(\delta)^2 + c_{t_0, c_w}^2 u(c_w)^2$$

حساسیت‌های $c_{i,0}$ به صورت زیر داده می‌شود:

$$= \frac{\partial t_0}{\partial t_t} = 2; \quad c_{t_0, t_t} = \frac{t_t}{t_0} = \frac{2t_t}{t_0} c_{t_0, t_t} \quad (\text{پ-۳۹})$$

$$= \frac{\partial t_0}{\partial K_g} = \frac{-2c_w \delta}{[1 - (c_w^2 / k_g^2)]^{3/2} k_g^3} = -\frac{2t_w^3 c_w^4}{\delta^2 k_g^3} c_{t_0, K_g} \quad (\text{پ-۴۰})$$

$$\frac{k_g}{t_0} = -\frac{2t_w^3 c_w^4}{\delta^2 k_g^2 t_0} c_{t_0, K_g}$$

$$= \frac{\partial t_0}{\partial \delta} = \frac{2t_w}{\delta}; \quad c_{t_0, \delta} \frac{\delta}{t_0} = \frac{2t_w}{t_0} c_{t_0, \delta} \quad (\text{پ-۴۱})$$

$$= \frac{\partial t_0}{\partial c_w} = -\left(2\delta / c_w^2 \sqrt{1 - \frac{c_w^2}{k_g^2}} \right) + \left[2\delta / k_g^2 \left(1 - \frac{c_w^2}{k_g^2} \right)^{3/2} \right] = -\frac{2t_w}{c_w} + \frac{2t_w c_w}{k_g^2 - c_w^2} c_{t_0, c_w} \quad (\text{پ-۴۲})$$

$$= \left(-\frac{2t_w}{c_w} + \frac{2t_w c_w}{k_g^2 - c_w^2} \right) \frac{c_w}{t_0} c_{t_0, c_w} \frac{c_w}{t_0}$$

جدول (پ-۶)، ارزیابی فرمول (پ-۳۸) را خلاصه می‌کند. عدم قطعیت تاخیر در گوه کوپینگ هم به صورت $u(t_t) = 0.5\%$ مشخص می‌شود. عدم قطعیت عامل هندسی، $u(K_g)$ در بند پ-۲-۴-۴ نشان داده شده است. عدم قطعیت ضخامت دیواره لوله $u(\delta) = 0.1$ mm فرض می‌شود. عدم قطعیت سرعت صوت در دیواره لوله برابر $u(c_w) = 20$ m/s فرض می‌شود. با سرعت موج برشی صوت در فولاد کربنی برابر $c_w = 3230$ m/s، عدم قطعیت نسبی برابر $u(c_w) = 0.62\%$ است.

جدول پ ۶- عدم قطعیت زمان تاخیر $u(t_0)$

توزیع	عامل حساسیت	مقدار عدم قطعیت	منبع عدم قطعیت	مولفه عدم قطعیت استاندارد
$\frac{c_i x_i u(x_i)}{t_o x_i}$	$c_i \frac{x_i}{t_o}$	$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$u(x_i)$	$u(x_i)$
۰,۱۸٪	$\frac{2t_t}{t_o} = 0.74$	۰,۲۵٪	زمان تاخیر در گوه جفت شونده	$u(t_t)$
-۰,۱۰٪	$\frac{-2t_w^3 c_w^4}{\delta^2 K_g^2 t_o} = -0.34$	۰,۳۰٪	عامل هندسی	$u(Kg)$
۰,۴۳٪	$\frac{2t_w}{t_o} = 0.26$	۱,۶۷٪	10^{-4} ضخامت دیواره	$u(\delta)$
۰,۰۵٪	$(-\frac{2t_w}{c_w} + \frac{2t_w c_w}{K_g^2 - c_w^2} t_o) \frac{c_w}{t_o} = 0.08$	۰,۶۲٪	۲۰ سرعت صوت در دیوار	$u(c_w)$
۰,۴۸٪	$\frac{u(t_o)}{t_o}$	عدم قطعیت استاندارد		

پ-۲-۴-۷ عدم قطعیت سیستم اندازه گیری زمان گذر $u(t_{tr})$

سازنده، عدم قطعیت گسترده نسبی اندازه گیری زمان گذر را به صورت 10^{-4} و $u_{rel}(t_{tr})$ یک سهم مطلق اضافی هم برابر $u_{abs}(t_{tr})=0.2T_0$ مشخص کرده است که T_0 دوره سیگنال می باشد. عدم قطعیت استاندارد نصف این مقدار بوده چون بسامد برابر ۱MHz و زمان گذر هم $s \times 10^{-6} \times 319$ است، بنابراین داریم:

$$= \sqrt{(0.5 \times 10^{-4})^2 + \left(\frac{0.1 \times 10^{-6}}{319 \times 10^{-6}}\right)^2} = 0.03\% \frac{u(t_{tr})}{t_{tr}} \quad (\text{پ-۴۳})$$

پ-۲-۵ عدم قطعیت استاندارد مرکب

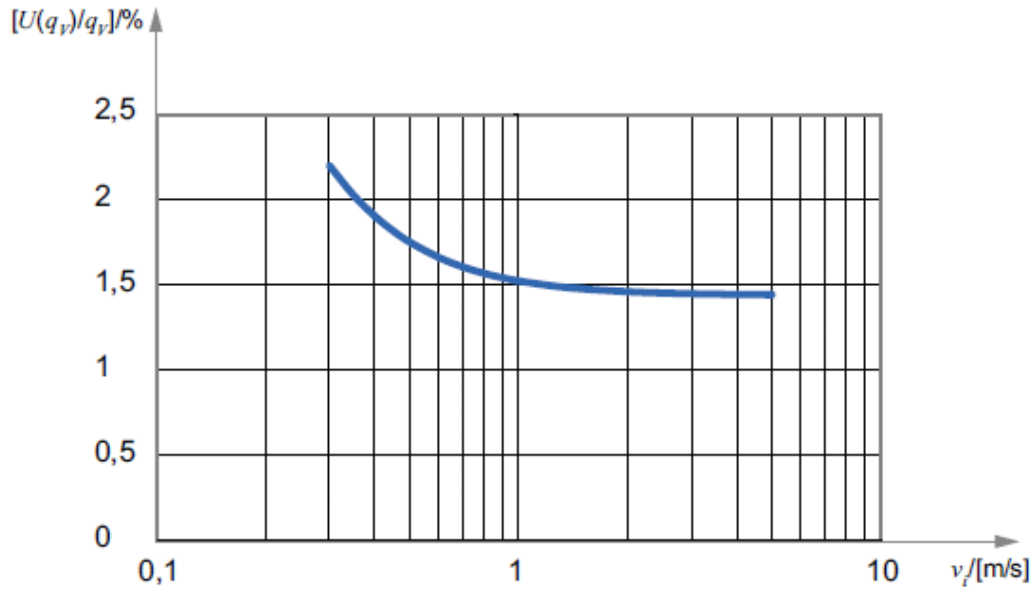
جدول (پ-۷) خلاصه نتایج محاسبات فوق را ارائه می کند. همان طور که می توان در ستون آخر دید، سهم مشارکت اصلی، ناشی از عدم قطعیت های پروفایل سرعت، سطح مقطع عرضی و عامل هندسی است. عدم قطعیت با سرعت مسیر مختلف که در جدول (پ-۸) نشان داده شده است. سهم مشارکت عدم قطعیت در اختلاف زمانی با کاهش سرعت مسیر افزایش می یابد. سهم های مشارکت دیگر ثابت باقی می ماند. شکل پ-۲ این مساله را به صورت گرافیکی نشان می دهد.

جدول پ - ۷ - عدم قطعیت کلی شارش حجمی

توزیع	عامل حساسیت	مقدار عدم قطعیت استاندارد	منبع عدم قطعیت	مولفه عدم قطعیت استاندارد
$\frac{c_i x_i u(x_i)}{q_v x_i}$	$c_i \frac{x_i}{q_v}$	$\frac{u(x_i)}{x_i}$	$u(x_i)$	$u(x_i)$
۰,۴۰٪	۱	۰,۴۰٪	پروفایل سرعت	$u(K_p)$
۰,۴۹٪	۱	۰,۴۹٪	مساحت سطح مقطع عرضی	$u(A)$
۰,۳۰٪	۱	۰,۳۰٪	عامل هندسی	$u(Kg)$
۰,۱۷٪	۱	۰,۱۷٪	اختلاف زمان	$u(\Delta t)$
۰,۱۰۴٪	$\frac{t_o}{t_{tr} - t_o} = 0.07$	۰,۴۸٪	زمان تاخیر	$u(t_o)$
-۰,۱۰۳٪	-۱	۰,۱۰۳٪	زمان انتقال	$u(t_{tr})$
۰,۷۲٪	$\frac{u(q_v)}{q_v}$	عدم قطعیت استاندارد		
۱,۴۵٪	عدم قطعیت گسترده (۲) (k=۹۵٪)			

جدول پ - ۸ - عدم قطعیت کلی شارش حجمی با سرعت مسیر متغیر

سرعت مسیر بر حسب $v_i, m/s$				منبع عدم قطعیت	مولفه عدم قطعیت استاندارد $u(x_i)$
۵,۰	۳,۵	۱,۰	۰,۳		
توزیع					
$\frac{c_i x_i u(x_i)}{q_v x_i}$					
۰,۴۰٪	۰,۴۰٪	۰,۴۰٪	۰,۴۰٪	پروفایل سرعت	$u(K_p)$
۰,۴۹٪	۰,۴۹٪	۰,۴۹٪	۰,۴۹٪	سطح مقطع عرضی	$u(A)$
۰,۳۰٪	۰,۳۰٪	۰,۳۰٪	۰,۳۰٪	عامل هندسی	$u(Kg)$
۰,۱۶٪	۰,۱۷٪	۰,۲۹٪	۰,۸۵٪	اختلاف زمان	$u(\Delta t)$
۰,۱۰۴٪	۰,۱۰۴٪	۰,۱۰۴٪	۰,۱۰۴٪	زمان تاخیر	$u(t_o)$
-۰,۱۰۳٪	-۰,۱۰۳٪	-۰,۱۰۳٪	-۰,۱۰۳٪	زمان انتقال	$u(t_{tr})$
۰,۷۲٪	۰,۷۲٪	۰,۷۶٪	۱,۱۰٪	عدم قطعیت استاندارد $= \frac{u(q_v)}{q_v}$	
۱,۴۴٪	۱,۴۵٪	۱,۵۲٪	۲,۲۰٪	عدم قطعیت گسترده (۲) (k=۹۵٪)	



راهنما:

عدم قطعیت گسترده در آهنگ شارش حجمی
سرعت مسیر

$$\frac{U(\Delta q_v/q_v)}{v_i}$$

شکل پ-۲- عدم قطعیت گسترده در مقابل سرعت مسیر برای مثال کنتور با ترانسدیوسرهای سوار شده بیرونی

پیوست ت
(اطلاعاتی)
اسناد

ت-۱ کلیات

در سایر بندهای این استاندارد ملی، مستندسازی راجع به درستی، تاثیرات نصب، الکترونیک‌ها، ترانسدیوسرهای فراصوت و تصدیق شارش صفر مورد نیاز است، علاوه بر این مستندسازی، سازنده تمام داده‌های لازم، گواهینامه‌ها و مستندات برای یک چیدمان درست، راه اندازی و استفاده از کنتور خاص برای عملکرد درست را باید فراهم کند. این مستندات شامل راهنمای کاربر، گواهینامه‌های آزمون فشار، گواهینامه‌های مواد، گزارش اندازه‌گیری همه پارامترهای هندسی بدنه کنتور و گواهی‌نامه‌هایی که پارامترهای تصدیق شارش صفر به کار برده شده را مشخص می‌کند.

سازنده باید حداقل مجموعه اسناد زیر را فراهم کند:

الف- شرحی از کنتور که مشخصات فنی و اصول عملیاتی آن را ارائه می‌کند؛

ب- یک نقشه سه بعدی یا عکس کنتور؛

پ- فهرستی از بخش‌ها با شرحی از مواد متشکله هر بخش؛

ت- نقشه‌ای از مونتاژ با شناسایی اجزای بخش‌های فهرست شده در بند قبل؛

ث- نقشه ابعاد؛

ج- نقشه‌ای که محل علامت‌ها و مهر و موم‌های تصدیق را نشان می‌دهد؛

چ- نقشه ابعاد اجزای مهم به لحاظ اندازه‌شناسی؛

ح- نقشه پلاک داده یا پلاک رویه و چیدمان برای حکاکی؛

خ- نقشه هر وسیله کمکی؛

د- دستورالعمل نصب، بهره‌برداری و نگهداری دوره‌ای؛

ذ- مستندات نگهداری شامل نقشه‌های شخص ثالث برای هر زمینه اجزای قابل تعمیر؛

ر- شرح واحد پردازش سیگنال الکترونیک، چیدمان و شرح کلی بهره‌برداری؛

ز- شرح سیگنال‌های خروجی در دسترس و هر مکانیزم تنظیمی؛

ژ- فهرستی از رابط‌های الکترونیک و نقاط ترمینال سیم کشی کاربر با مشخصات الزامی آن‌ها؛

س- شرح توابع نرم افزار و دستورالعمل‌های بهره‌برداری؛

ش- مستنداتی که طراحی و ساخت با کد ایمنی کاربردی و آیین نامه مطابقت دارد؛

ص- مستنداتی که عملکرد کنتور که با الزامات بند ۵ مطابقت دارد؛

ض- روش اجرایی آزمون تصدیق میدانی مطابق شرح بند ۱۱؛

ط- فهرست مستندات ارائه شده؛

تمام مستندات باید تاریخ داشته باشند.

ت-۲ پس از دریافت سفارش

سازنده باید نقشه‌های طرح کنتور را که شامل ابعاد رو در رو سرتا سر فلنج، قطر داخلی، امکان فضای نگهداری، نقاط اتصال لوله و جرم تخمین زده شده است را تهیه کند. سازنده باید فهرست قطعات یدکی توصیه شده را فراهم کند. سازنده باید نقشه‌های الکتریکی خاص کنتور را تهیه کند و نقاط پایانی سیم‌کشی را به مشتری نشان دهد و همچنین طرح شماتیک الکتریکی همه اجزای مدارهای همراه که به اولین اجزای عایق‌بندی برمی‌گردد را نشان دهد، به طور مثال جدا کننده نوری^۱، رله و آمپلی‌فایر عملیاتی این امر به طراح اجازه می‌دهد واسط مدارهای الکترونیک را طراحی کند.

ت-۳ قبل از حمل

پیش از حمل کنتور، سازنده باید موارد زیر را برای بازنگری بازرسان، در دسترس قرار دهد:

- گزارش‌های متالورژی،
- گزارش‌های بازرسی جوش،
- گزارش‌های آزمون فشار،
- اندازه‌گیری‌های ابعادی نهایی و
- گواهی‌نامه‌های کالیبراسیون شارش (در صورت امکان).

پیوست ث
(اطلاعاتی)
کتابنامه ۱

[۱] استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۰، اندازه‌گیری شارش سیال توسط فشارسنج تفاضلی قرار

داده شده در مجرای با سطح مقطع دایروی پر از سیال - قسمت ۱: اصول کلی و الزامات

[۲] استاندارد ملی ایران شماره ۵۱۶۸: سال ۱۳۹۰، اندازه‌گیری جریان سیال - روش اجرایی برای ارزیابی عدم

قطعیت

[۳] استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۶، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاههای آزمون

و کالیبراسیون

[۴] استاندارد ملی ایران شماره ۴-۹۸۱۹: سال ۱۳۹۲، کمیت‌ها و یکاها - قسمت ۴: مکانیک

[5] ISO/TR 7066-1:1997, Assessment of uncertainty calibration and use of flow measurement devices part 1: Linear calibration relationships

[6] ISO/TR 7871:1997 Cumulative sum charts- Guidance on quality control and data analyses using CUSUM techniques.

[7] OIML 11:2004, General requirements for electronic measuring instruments

[8] AGA Report No 9, Measurement of gas by multipath ultrasonic meters, Transmission Measurement committee, 2nd edition. Arlington, VA : American Gas Association, 2007

[9] API MPMS 5.8, Measurement of liquid hydrocarbons by ultrasonic flow meters using transit time technology, In: API manual of petroleum measurement standards

[10] BROCA, O., ESCANDA,J., DELENNE,B. Influence of flow conditions on an ultrasonic flow meter. Flomeko,2003

[11] DE BOER G., KURTH, M. Investigation regarding installation effects for small ultrasonic metering packages. North sea flow measurement workshop,1999

[12] BOKHORST,E. Impact of pulsation sources in pipe systems on multipath ultrasonic flow meters. North sea flow measurement workshop,2000

- [13] BROWN, G. Velocity profile effects on multipath ultrasonic flow meters. 6th international symposium on fluid flow measurement, 2006
- [14] CALOGIROU, A., BOEKHOVEN, J., HENKES, R.A.W.M. Effects of wall roughness changes on ultrasonic gas flow meters. Flow meas. Instrum. 2001, 12, pp. 219-229
- [15] COMMISSARIS, K.H., DEBOER, G. Realisation of compact metering runs with ultrasonic gas flow meters and reducing measurement uncertainty. Flomeko, 2003
- [16] COULL, J.C., BARTON, N.A. Investigation of the installation effects on ultrasonic flow meters and evaluation of computational fluid dynamics prediction methods. North sea flow measurement workshop, 2002
- [17] DANE, H.J., WILSACK, R. Upstream pipe wall roughness influence on ultrasonic flow measurement. AGA Operations conference, 1999
- [18] DRENTHEIN, J.G. The use of the speed of sound as a verification tool. Instromet international publication, 2000
- [19] DRENTHEIN, J.G. KURTH, M., VANKLOOSTER, K. A novel design of a 12 chords ultrasonic gas flow meter with extended diagnostic functions. AGA operations conference, 2007
- [20] FOLKESTAD, T., FLOLO, D., TUNHEIM, H., NESSE, O. Operating experience with two ultrasonic gas meters in series. North sea flow measurement workshop, 2003, paper no 17
- [21] FURUCHI, N., SATO H., TERAOKA, Y. Effect of surface roughness of pipe wall for transit time ultrasonic flow meter. 6th international symposium of fluid flow measurement, 2008
- [22] GERG PROJECT. Evaluation of flow conditioners- ultrasonic meters combinations. North sea flow measurement workshop, 2004
- [23] GRIMLEY, T.A. Performance testing of ultrasonic flow meters. North sea flow measurement workshop, 1997
- [24] HOGENDOORN, J., TAWACKOLIAN, K., VAN BRAKEL, P., VAN KLOOSTER, J., DRENTHEIN, J. High viscosity hydrocarbon flow measurement, a challenge for ultrasonic flow meters? North sea flow measurement workshop, 2009
- [25] KARNIK, U., GEERLINGS, J. The effect of steps and wall roughness on multipath ultrasonic meters. 5th international symposium on fluid flow measurement, 2002
- [26] KEGEL, T.M. Uncertainty analysis of turbine and ultrasonic meter volume measurement. AGA operations Conference Orlando, Florida, 2003
- [27] MANTILLA, J., HANER, W. Process variable stability, data processing and installation end environmental influence during ultrasonic meter calibration. 6th international symposium on fluid flow measurement, 2006

- [28] MOORE, P.I., BROWN, G.J., STIMPSON, B.P. Modeling of transit time ultrasonic flow meters in theoretical asymmetric flow. Flomeko,2000
- [29] MOORE, P.I. Modeling of installation effects on transit time ultrasonic flow meters in circular pipes. PhD thesis, University of strathclyde,2000
- [30] MORRISON, G.L., TUNG, K. Numerical simulation of the flow field downstream of 90 degree elbows and the simulated response of an ultrasonic flow meter. Chicago, IL: gas research institute, 2001. (Technical report No. GRI-01/0090)
- [31] MORRISON, G.L. Pipe wall roughness effect upon orifice and ultrasonic flow meters. Chicago, IL :gas research institute, 2001. (technical report No. GRI-01/0091)
- [32] MORRISON, G.L., BRAR, P. CFD evaluation of pipeline gas stratification at low flow due to temperature effects. Chicago, LI: gas research institute, 2004 (topical report GRI-04/0155.)
- [33] MORROW, T.B. Line pressure and low-flow effects on ultrasonic gas flow meter performance. Chicago, IL: gas research institute, 2005. (topical report GRI-05/0133.)
- [34] RIEZEBOS, H.J. Whistling flow straighteners and their influence on US flow meter accuracy. North sea flow measurement workshop, 2000
- [35] SCHLICHTING, H., GERSTEN, K. Boundary layer theory, 8th edition. Berlin: springer,2000. 799 p.
- [36] SLOET, G.H. Bi-directional fiscal metering stations by means of ultrasonic meters. North sea flow measurement workshop, 1999
- [37] VERMEULEN, M.J.M., DE BOER, G., BUIJEN VAN WEELDEN, A., BOTTER, E., DIGKMANS, R. Coded multiple burst (CMB) signal processing applied to ultrasonic flow meters in applications with high noise levels. North sea flow measurement workshop, 2004
- [38] VOLKER, H., WEHMEIER, M., DIETZ, T., EHRLICH, A., DIETZEN, M. The use of an 8 path ultrasonic meter as a reference standard. 5th international south East Asia hydrocarbon flow measurement workshop, 2005
- [39] WILSACK, R. Integrity of custody transfer measurement and ultrasonic technology. CGA measurement school, 1996
- [40] ZANKER, K. The calibration, proving and validation of ultrasonic flow meters. 6th international symposium on fluid flow measurement 2006
- [41] ISO 11631:1998, measurement of fluid flow- methods of specifying flowmeter performance
- [42] ISO 17089-1:2010, Measurement of fluid flow in closed conduits- Ultrasonic meters for gas- part 1: meters for custody transfer and allocation measurement

[43] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement- part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

[44] ISO/IEC Guide 99:2007, International vocabulary of metrology- Basic and general concepts and associated terms (VIM)

[45] SWAMEE, P.K., JAIN, A.K. Explicit equations for pipe-flow problems. J. Hydraulics Div. (ASCE) 1976, 102, pp. 657-664

[46] HAACKE, A.C. Extended theory of the ultrasonic flow meter. In SZILVASSY, A., editor. FLOMEKO 83, 1983-09, Budapest