

نوشته:

حسین شکوه‌منند

استادیار دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده

در این مقاله تاثیر میدان سرعت حاصل بر اثر حضور سوند آنومتر فیلم داغ، هنگام استفاده از این وسیله در اندازه‌گیری نیمرخ سرعت در لایه مرزی جابه‌جایی آزاد، مورد مطالعه تجربی قرار گرفته است. سیال مورد استفاده در آزمایشها، روغن MISOLA-AT بوده است.

در این مطالعه تجربی نشان داده شده که میدان سرعت ثانویه حاصله به وسیله سوند آنومتر در سرعتهای پائین سیال، باعث عدم دقت در اندازه‌گیری نیمرخ سرعت اصلی می‌گردد. اهمیت این نکته، به خصوص در اندازه‌گیری "شدت آشفتگی" در "لایه مرزی آشفته" در جابه‌جایی آزاد و نیز تعیین طیف اغتشاش مربوطه بسیار زیاد است. به گونه‌ای که با توجه به ارزش مقداری مولفه‌های اغتشاشی سرعت، در لایه مرزی آشفته، در جابه‌جایی طبیعی، مقادیر اندازه‌گیری شده به وسیله آنومتر قابل اطمینان نیست.

مقدمه

در حال حرکت هستند. در این روشها که برای مطالعه کمی سرشتنماهای جریان به کار می‌روند از تغییرات مکانیکی، فیزیکی یا شیمیایی که در این عنصر رخ می‌دهند استفاده می‌گردد. اندازه‌گیری سرعت سیال و نوسانات مربوط به آن در این دسته قرار می‌گیرد. در مطالعه جابه‌جایی آزاد بر روی یک صفحه صاف، اندازه‌گیری نیمرخ سرعت در نواحی مختلف جریان آرام، برزخ (ترانزیشن) و آشفته (توربولان) مسئله بسیار ظریف و دقیقی است. به علاوه با توجه به این که در نواحی جریان برزخ و آشفته، نظریه دقیقی در دست نیست، شناخت رفتار سیال با انجام آزمایش در این دو ناحیه ارزش بسزایی دارد. به ویژه اگر بتوانیم مولفه‌های اغتشاشی سرعت را در لایه مرزی آشفته در جابه‌جایی آزاد اندازه‌گیری نماییم، طیف اغتشاش و شدت آشفتگی جریان در لایه مرزی آشفته، مشخص خواهد شد. تکنیک معمول در اندازه‌گیری به آنومتری فیلم داغ و یا سیم داغ موسوم است. این روش مطالعه در جابه‌جایی اجباری و سرعتهای بالا نتایج بسیار

مطالعه و بررسی میدان حرکت سیال و نیز اندازه‌گیری بعضی از سرشتنماهای حرکت، مانند سرعت و نوسانات آن، یکی از مسائل اساسی و جالب توجه مکانیک سیالات و انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی است. به طور کلی روشها و تکنیکهای موجود جهت این مطالعه و بررسی دو دسته هستند:

دسته اول: شامل استفاده از تکنیکهایی است که به کمک آنها می‌توان از میدان جریان سیال عکسبرداری نمود و با اصولاً با قراردادن دستگاههای بخصوصی حرکت سیال را مشاهده و میدان جریان را بررسی کرد. این روشها بیشتر به لحاظ مطالعه کیفی جریان اهمیت دارند.

دسته دوم: تکنیکهای موجود در این دسته شامل وارد کردن یک عنصر آشکارساز Detector در داخل سیال

بی‌بعد Gr و Pr و Re و Nu پیشنهاد کرده‌اند. در رابطه پیشنهادی آنان تغییرات خصوصیات فیزیکی سیال در نظر گرفته نشده است.

(4) Davis & Davies بکمک یک الگوی

ریاضی و با محاسبات عددی، ضریب انتقال حرارت کلی h را دقیقاً محاسبه کرده‌اند. در این الگو تغییرات دما در طول استوانه سوند و اتلافات حرارتی نیز منظور شده است. در واقع این مطالعه اگر چه می‌تواند به صورت کاملی اثرات عامل‌های مختلف را بر روی انتقال حرارت منظور کند، مستقیماً قابل استفاده نیست. زیرا در اغلب موارد از سرشت‌های هندسی سوند اطلاعات تقریبی در دست است. اثر تغییرات L/d و نیز اثر درجه حرارت به وسیله Davis & Davies مطالعه شده است.

نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که فرضیه‌های معمول در آنومتری سیم داغ یا فیلم داغ در موارد $10^3 < L/d < 10^4$ قابل قبول است. به علاوه برای در نظر گرفتن اثرات درجه حرارت بر روی ضریب انتقال حرارت در مایعات لازم است خصوصیات فیزیکی در درجه حرارت فیلم $T_f = \frac{T_s + T_a}{2}$ (یا میانگین لگاریتمی در صورتی که اختلاف $T_s - T_a$ زیاد باشد) منظور شوند.

اثرات درجه حرارت به وسیله محققین دیگری [3]، [4]، [6] نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در این مطالعات علاوه بر T_f پارامترهای جدید دیگری برای تعیین تاثیر دما پیشنهاد شده است. در مورد تاثیر جابه‌جایی آزاد حاصل بر اثر حضور سوند داغ در سیال، بررسی معادلات کلی انتقال حرارت نشان می‌دهد که سهم جابه‌جایی آزاد، که با عدد گراسهف مشخص می‌شود، وقتی $\frac{Gr}{Re^2} = 1$ قابل ملاحظه است. در حالی که Gebhart & Adunson [5] معتقدند که تاثیر جابه‌جایی آزاد در موارد $Gr^{\frac{1}{3}} < Re$ ناچیز است.

(4) Davis & Davies پیشنهاد می‌کنند که اثر جابه‌جایی آزاد وقتی بر روی جواب سوند تاثیر دارد که نامساوی $L/d \sqrt{Gr} > 1$ برقرار باشد.

دستگاه آزمایش

دستگاه مورد استفاده اساساً "تشکیل شده است از یک مخزن استوانه‌ای عایق پوشی شده به طول 61 cm و به قطر 37

خوبی می‌دهد. لیکن به طوری که نشان داده خواهد شد، استفاده از روش آنومتری در اندازه‌گیری طیف اغتشاش و شدت آشفستگی، برخلاف جابه‌جایی اجباری، منجر به نتیجه دقیق در جابه‌جایی آزاد نمی‌گردد.

عوامل مؤثر بر نحوه انتقال حرارت بین سوند و سیال و مطالعه کارهای انجام شده در این زمینه

از نقطه نظر مکانیک سیالات و انتقال حرارت مسئله را می‌توان به صورت زیر مطرح ساخت:

استوانه‌ای به قطر d و به طول L و در دمای ثابت T_s در داخل سیالی به سرعت V و به دمای T_a قرار گرفته است. مقاومت الکتریکی این استوانه R_s و اختلاف پتانسیل دو طرف سوند e است. توان الکتریکی مصرفی سوند:

$$P = \frac{e^2}{R_s}$$

انرژی حرارت فوق (ناشی از اثر ژول) با مکانیسم‌های جابه‌جایی اجباری، جابه‌جایی آزاد، هدایت و تشعشع، به سیال واگذار می‌شود. اگر h ضریب روی هم‌رفته انتقال حرارت سوند به سیال و z مساحت سطح جانبی آن باشد خواهیم داشت:

$$\frac{e^2}{R_s} = (T_s - T_a) z \cdot h \quad (1)$$

در حالت کلی رفتار دقیق جریان سیال بر روی سوند و در نتیجه ضریب کلی انتقال حرارت h و نیز اطلاعات مربوط به شکل هندسی سوند کاملاً مشخص نیست و از این رو نباید انتظار داشت که بتوان h و z را دقیقاً تعیین کرد.

تحلیل بعدی مسئله نشان می‌دهد که:

$$Nu_d = f(R_e, P_r, G_r, L/d, \frac{T_s - T_a}{T_a}) \quad (2)$$

از این عوامل بی‌بعد، فقط عدد R_e شامل سرعت سیال است. تاثیر جابه‌جایی آزاد در معادله ابعادی با عدد بی‌بعد G_r نمودار گشته است. محققین متعددی در این زمینه کار کرده‌اند از جمله:

* King [2] قانون $Nu = A + BR^{0.5}$ که

مشهورترین قانون در این زمینه است را پیشنهاد کرده است. این قانون که برای سرعت‌های $10^m/s < V < 2^m/s$ صادق است، در هوا و گازها نتایج بسیار خوبی می‌دهد.

* Zinjen و Vander Hegge [3]

با ترکیب نتایج نظری و تجربی رابطه‌ای بین چهار پارامتر

* اعداد داخل کروشه ماخذ مربوطه را نشان می‌دهد.

د - تشکیل حبابهای بخار بسیار ریز در روی سطح جانبی سوند .

مورد اخیر به خصوص وقتی که درجه حرارت سوند بالا باشد اتفاق می‌افتد و از اشکالات عمده اندازه‌گیری است . هریک از عوامل فوق بر نحوه و میزان انتقال حرارت بین سوند و مایع تاثیر داشته و از حساسیت آن خواهد کاست . برای این که اشکالات فوق تا حد امکان رفع شود ، مایع مورد آزمایش روغن انتخاب شده است (MISOLA-AT) . انتخاب روغن به دلیل بالاتر بودن نقطه جوش آن و عدم وجود گازهای محلول ، بر آب راجحیت دارد . با این حال مسئله ذرات معلق به عنوان یک عامل مزاحم اندازه‌گیری باقی می‌ماند . در انجام آزمایش باروغن به منظور جلوگیری از بروز پدیده کراکینگ لازم است درجه حرارت سوند به مراتب پایین تر از نقطه جوش انتخاب گردد [1] Ecklemann . از آن رو در آزمایشهای انجام شده حداکثر اختلاف درجه حرارت بین سوند آنومتر و مایع در دمای محیط ، از 70°C بیشتر نبوده است .

تشریح مدار الکتریکی سیستم آنومتری

در آزمایشات انجام شده از آنومتر فیلم داغ استفاده شده است . سوند آنومتر استوانه‌ای شکل و مدل آن DISA55R01 می‌باشد . در تمام مدت آزمایش درجه حرارت سوند ثابت نگهداشته شده است .

مدار الکتریکی ، مطابق شکل (ب) پل وستون (C.T.A) مدل 55M10 می‌باشد . اگر جریان گذرنده از سوند ، I_s باشد $e = I_s R_s$ بوده و ولتاژ خروجی E متناسب با ولتاژ e خواهد بود . بنابراین ، برای یک نسبت گرمایی ثابت $e, \frac{R_s - R_a}{R_a} = ct$ و در نتیجه E فقط به سرعت نقطه مورد نظر بستگی خواهد داشت ، یعنی $E = f(V)$ به کمک این رابطه می‌توان با اندازه‌گیری E سرعت لحظه‌ای را اندازه گرفت . با توجه به اینکه اینرسی حرارتی سوند فیلم داغ کم است ، ثابت زمانی آن در حدود چند هزارم ثانیه بوده و در نتیجه بانوسانات لحظه‌ای سرعت ، مقدار E و تغییرات آن خواهد کرد . بدین جهت از یک ولت‌متر آنتراتور از نوع DISA55D35 برای اندازه‌گیری مقدار متوسط e و در نتیجه E استفاده شده است .

این دستگاه با وزن M از طریق ریسمان G که از روی سه قرقره می‌گذرد مربوط است . (شکل الف)

در دو طرف ظرف استوانه‌ای دو ستون قائم قرار گرفته‌اند که استوانه در امتداد آنها حرکت کشویی انجام می‌دهد . سوند آنومتر از درب بالایی ظرف استوانه‌ای عبور کرده و در قسمت بالا به یک پایه نگهدارنده دیگری محکم شده است . پایه نگهدارنده سوند به طور جداگانه به یک بلوک سیمانی مربوط است به طوری که سوند و پایه نگهدارنده کاملاً از چهارچوب دستگاه مخزن و قرقره‌ها مجزا است . این مسئله کاملاً ضروری است چون سوند آنومتری باید به کلی از اثرات ارتعاشات احتمالی ایجاد شده در سیستم مخزن و قرقره مجزا بماند . حرکت مخزن استوانه‌ای به وسیله یک موتور الکتریکی تامین می‌گردد . کل دامنه حرکت مخزن استوانه‌ای 500 mm است . به علاوه به کمک مکانیسمی می‌توان مخزن را در هر وضعیت متوقف ساخت . در بالای درب استوانه‌ای ، سوراخ دیگری برای عبور یک ترموکوپل تعبیه شده است . این ترموکوپل ، درجه حرارت سیال داخل ظرف را اندازه می‌گیرد .

یک خط کش مدرج به طور قائم در امتداد پال مخزن استوانه‌ای به آن محکم شده است . این خط کش در هر 50 mm دارای روزه بسیار کوچکی است . با عبور هریک از این روزه‌ها از جلو سلول فتوالکتریک ، مدار مربوط به اندازه‌گیری زمان به کار افتاده و زمان را ثبت می‌نماید . بدین ترتیب به دقت می‌توان زمان مربوط به فاصله 50 mm را دانست و سرعت متوسط را به دقت اندازه گرفت . دقت اندازه‌گیری دستگاه برای سرعتهای حدود 30 mm/Sec در حدود دو دهم درصد و برای سرعتهای 0.3 mm/Sec در حدود دو درصد است .

انتخاب نوع سیال آزمایش

انتخاب مایع آزمایش باید به گونه‌ای باشد که حداقل اشکالات اندازه‌گیری را داشته باشیم . وقتی سوند داغ در داخل مایع قرار می‌گیرد ، عوامل متعددی بر مکانیسم انتقال حرارت بین سوند آنومتر و مایع اثر نموده و از دقت اندازه‌گیری خواهد کاست . از مهمترین عوامل می‌توان موارد زیر را ذکر نمود :

الف - قابلیت هدایت الکتریکی مایع و در نتیجه اثرات

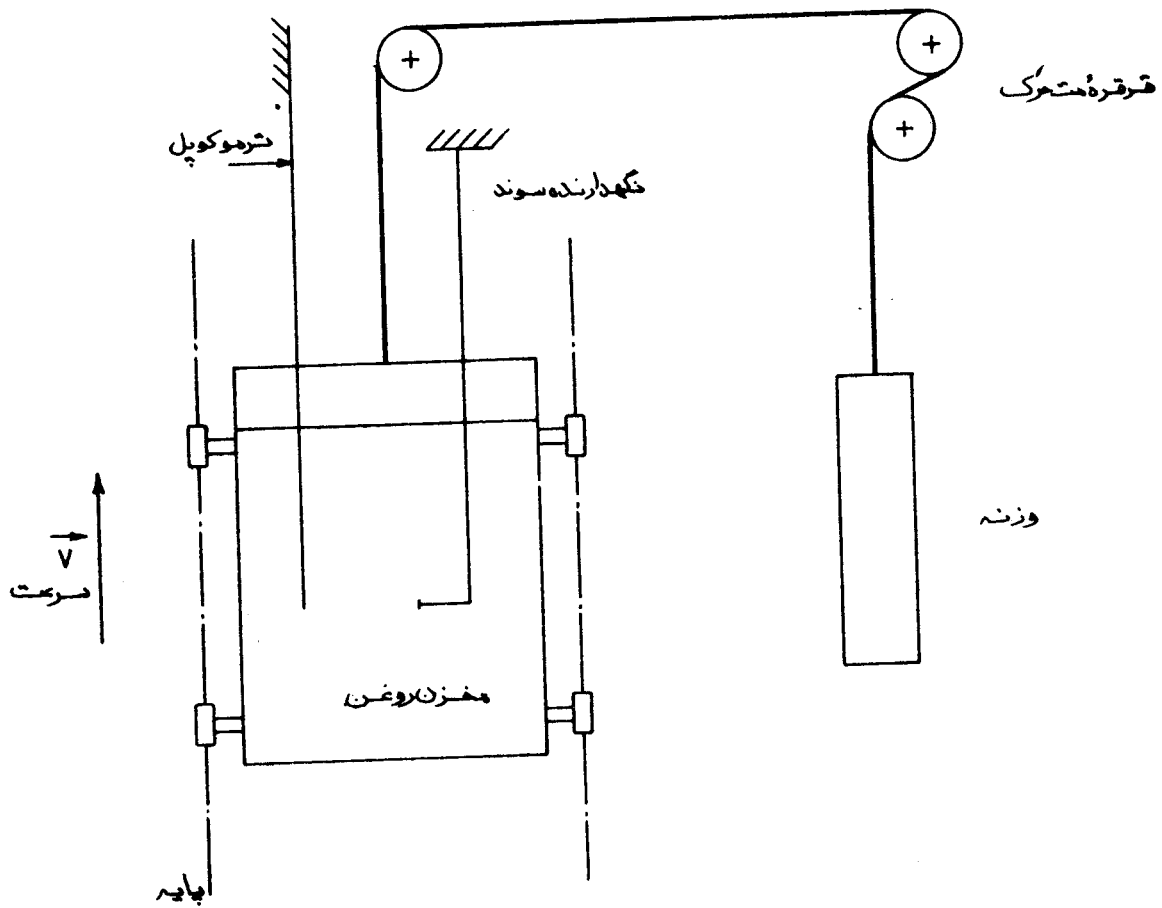
الکترو شیمیایی و جریان پارازیت .

ب - وجود ذرات معلق در مایع و رسوب آنها بر روی

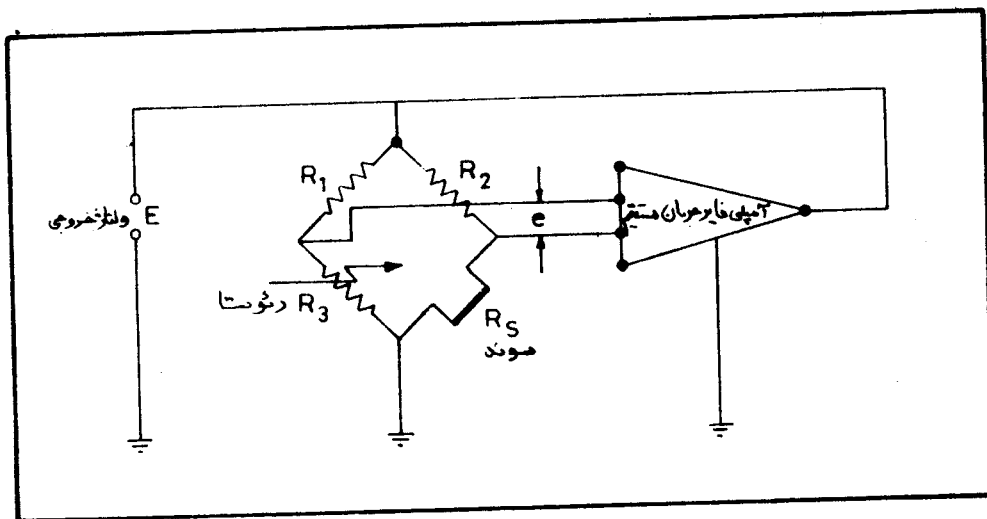
سطح سوند با توزیع ناهمگون .

ج - ناخالصیهای شیمیایی ، گازهای محلول در مایع

و اجتماع حبابهای گاز .



شکل (الف) - نمودار دستگاه آزمایش



شکل (ب) - مدار الکتریکی آنومتر

نتایج آزمایشها

در شکل (۱) تغییرات ولتاژ E با سرعت V سیال برای شرایط

$$\begin{aligned} R_s &= 8.15 & T_a &= 22.7 & a &= 34\% \\ T_s &= 100^\circ\text{C} & R_a &= 6.08 \end{aligned}$$

اندازه‌گیری و نشان داده شده است.

باتوجه به این که هدف، اندازه‌گیری سرعت‌های پائین و اثرات حضور سوند در سیال است، در شکل (۲)، تغییرات پارامتر B بر حسب V برای سرعت‌های بین 0.2 میلی‌متر در ثانیه و 2 میلی‌متر در ثانیه رسم شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود:

$$B = 0.106 V \quad V \leq 2 \text{ mm/Sec}$$

در شکل (۳) تغییرات B بر حسب V برای سرعت‌های بالاتر از 2 mm/Sec رسم شده است. در این حالت رابطه $b = KV^{0.7}$ برقرار است. (K=0.145) در هر دو مورد حرکت مخزن به طرف بالا و در خلاف جهت شتاب ثقل می‌باشد.

برای تعیین تاثیر میدان جابجایی آزاد ناشی از اثر حضور سوند در سیال، آزمایش تحت همان شرایط (Ta=21.5°C, Ts=105.7°C) و برای حالتی که مخزن به طرف پائین حرکت کند (هم جهت با شتاب ثقل) به عمل آمده است. در این حالت می‌توان چنین تعبیر نمود که سرعت مایع در خلاف جهت حرکت میدان سرعت جابجایی آزاد ایجاد شده به وسیله سوند، می‌باشد. در شکل (۴) نتایج بدست آمده برای هر دو حالت حرکت مخزن در جهت شتاب ثقل (منحنی شماره ۱) و خلاف آن (منحنی شماره ۲) نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود اگر سرعت سیال بیش از 10 mm/Sec باشد. تاثیر میدان سرعت جریان جابجایی آزاد سوند بر روی سرعت اصلی سیال، عملاً ناچیز و قابل صرف نظر است. در حالی که برای سرعت‌های کمتر از 10 mm/Sec منحنی‌های مربوطه به دو حالت مختلف بایکدیگر اختلاف دارند. عدم انطباق این دو منحنی در حالت اخیر مربوط به اثرات جریان جابجایی آزاد ایجاد شده به توسط سوند آنومتر است.

نتیجه‌گیری و بحث

باتوجه به مطالعه تجربی فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش آنومتری برای اندازه‌گیری نیمرخ سرعت در لایه مرزی جابجایی آزاد روش دقیق و موثری نیست. به علاوه باتوجه به طبیعت رفتار حرکت مایع در بخش‌های مختلف لایه مرزی (آرام - برزخ - آشفته) می‌توان چنین نتیجه گرفت که

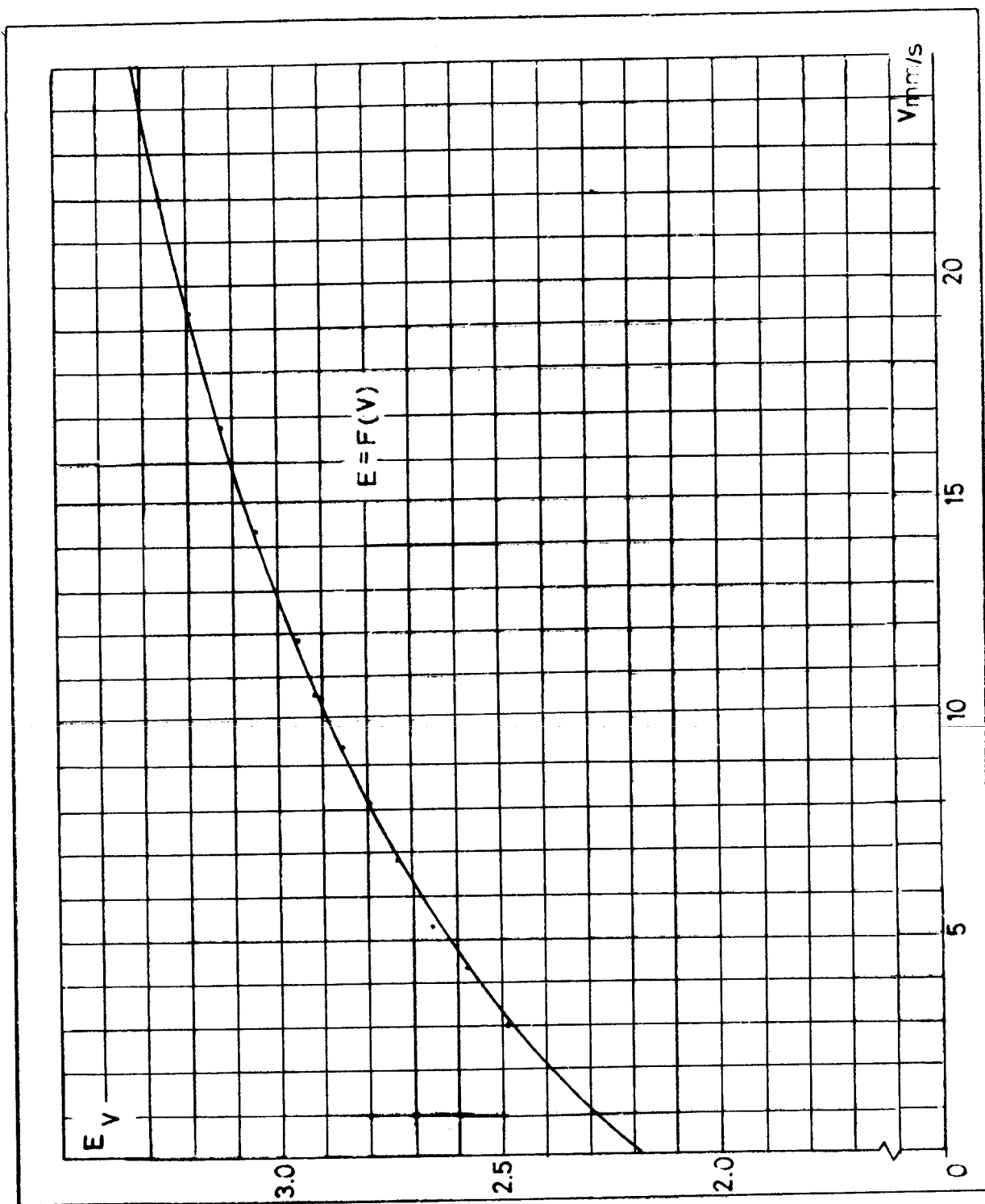
اندازه‌گیری مولفه‌های اغتشاشی سرعت در لایه مرزی آشفته جابجایی آزاد، که اهمیت زیادی در مطالعه "طیف اغتشاشی" جریان و همچنین "شدت آشفستگی" آن دارند، به کمک آنومتر فیلم داغ قابل اطمینان نیست. به ویژه این که قدر مطلق مقدار مولفه‌های اغتشاشی سرعت در لایه مرزی آشفته در جریان جابجایی آزاد، گاهی هم مقدار با خود سرعت، حتی بیشتر از سرعت اصلی جریان است. باتوجه به این مطلب و یاد نظر گرفتن اثرات میدان جابجایی ناشی از حضور خود سوند آنومتر، واضع می‌گردد که در سرعت‌های واحد کمتر از 10 mm/Sec تشخیص این که ولتاژ خروجی E به اندازه‌گیری مولفه کدام یک از میدان‌های سرعت اصلی، مولفه‌های اغتشاشی سرعت و یا به جریان جابجایی ایجاد شده به توسط خود سوند مربوط است، عملاً غیرممکن بوده و تعبیر نتایج به دست آمده برای محاسبات طیف اغتشاشی و شدت آشفستگی جریان مقدور نیست.

ضمیمه

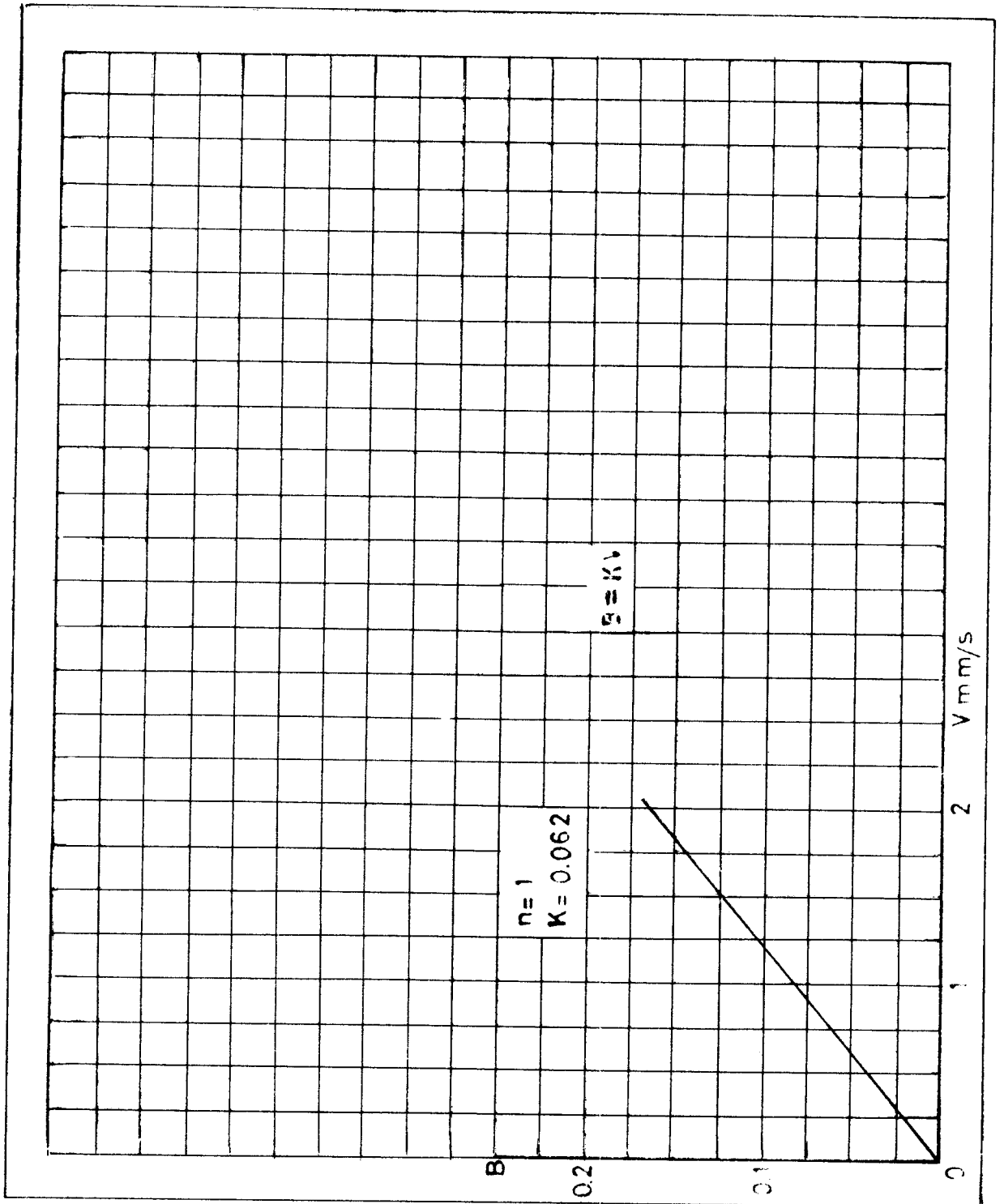
سرشتنماهای روغن MISOLA-AT مورد استفاده در دمای 20°C

ضریب هدایت حرارتی	گرمای ویژه	چسبندگی دینامیک
$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$	$\frac{Kj}{Kg \cdot ^\circ C}$	"Poiseuille"
0.128	1.88	7.62×10^{-2}

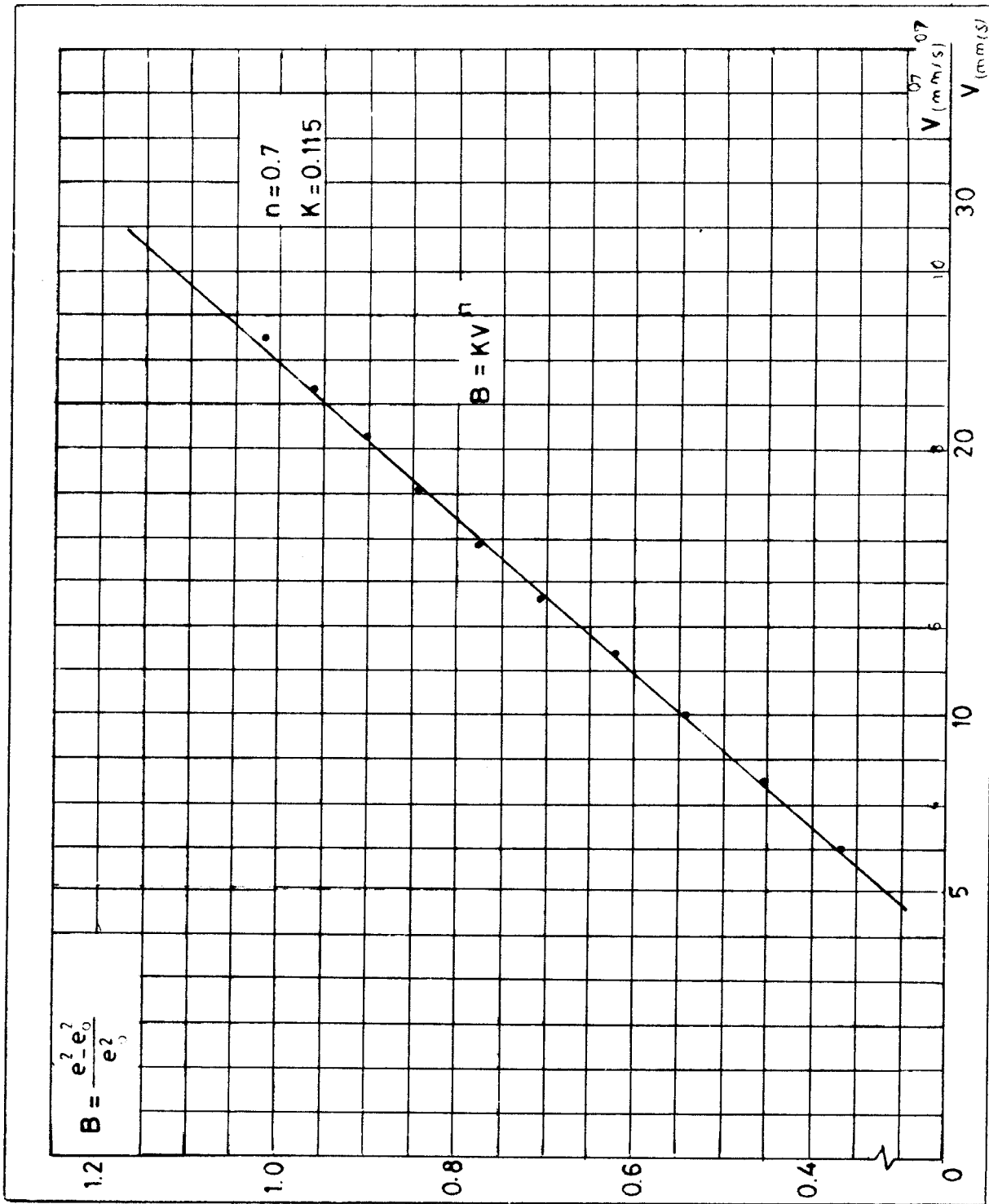
چگالی نسبی	درجه حرارت
0.862	20



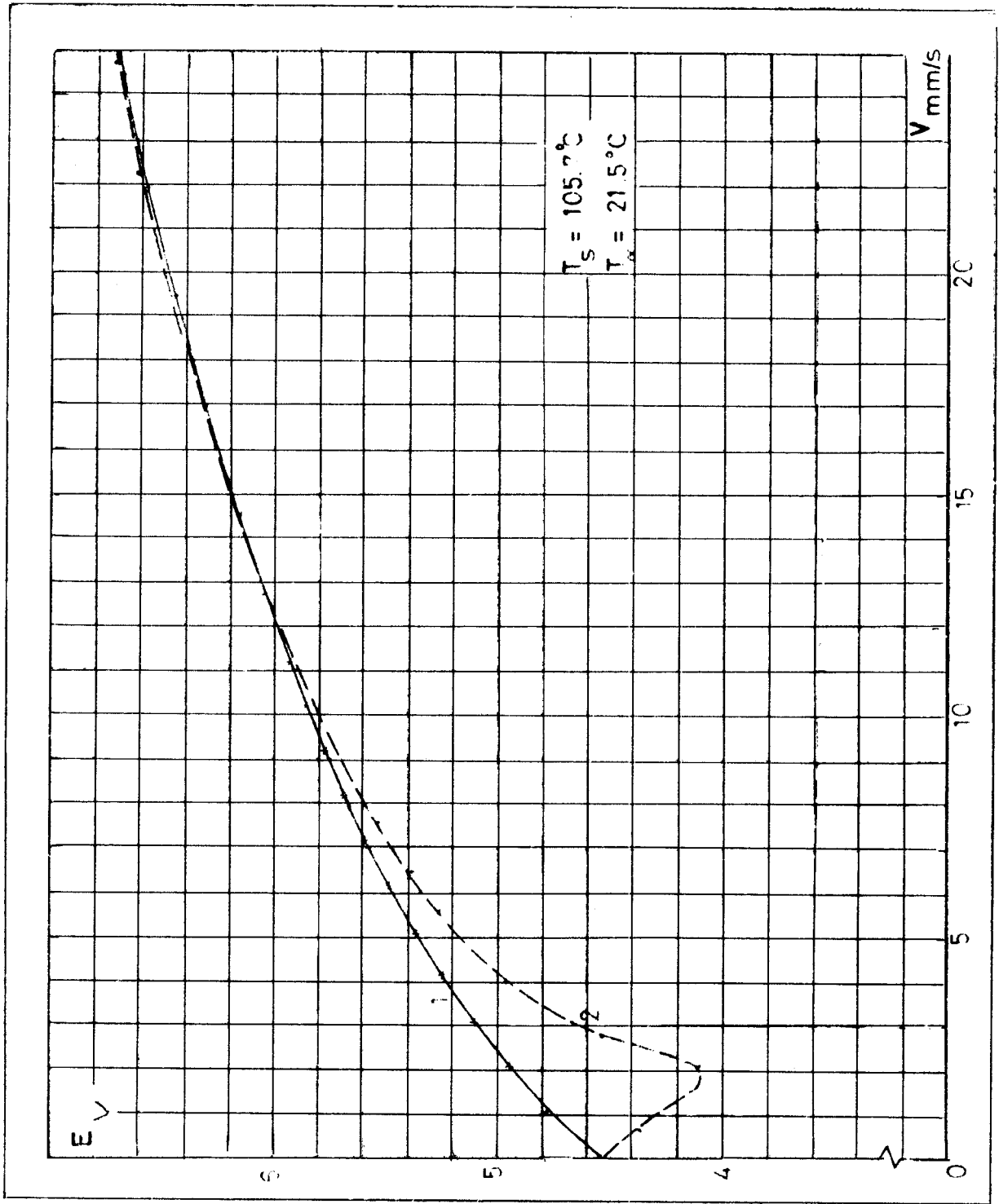
شکل (۱) - تغییرات ولتاژ E بر حسب سرعت جریان سیال V



شکل (۳) - تغییرات عامل بی بعد B با سرعت سیال V



شکل (۳). تغییرات عامل بی بعد B با سرعت سیال V



شکل (۴) - تاءثیر جابه جایی آزاد

علائم اختصاری*

Ta	درجهء حرارت سیال
Ra	مقاومت سوند در دمای سیال
Ts	درجهء حرارت سوند
Rs	مقاومت سوند در دمای Ts
$a = \frac{Rs - Ra}{Ra}$	ضریب فوق گرمایی
E	تانسیون نشان داده شده به وسیله آنومتر
e	تانسیون دوطرف سوند
E_o	تانسیون درحالتی که سیال به حال سکون است
e_o	تانسیون دوطرف سوند درحالت سکون سیال
v	سرعت سیال
d	قطر سوند
L	طول سوند
h	ضریب جابه جایی انتقال حرارت در حرکت سیال بر روی سوند
z	سطح کل سوند
$\rho, \mu, \lambda, Cp, \beta$	بترتیب جرم مخصوص، چسبندگی دینامیک، ضریب هدایت حرارتی، گرمای ویژه سیال، ضریب انبساط حجمی
$Nu = \frac{hd}{\lambda}$	عدد نوسلت سوند
$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$	عدد رینولدز در جریان سیال
$Pr = \frac{\mu Cp}{\lambda}$	عدد پранدل سیال
$Gr = \rho^2 \frac{g \beta (Ts - Ta) d^3}{\mu^2}$	عدد گراسهوف
$B = \frac{e^2 - e_o^2}{e_o^2}$	

* تمامی یکه ها در سیستم بین المللی منظور شده است.

فهرست منابع

References:

- 1- H.ECKELMANN. Hot-wire and Hot-film Measurements in Oil-DISA-Information- N013 May 1972.
- 2- KING (L.V.). On the convective heat transfer from small cylinders in a stream of fluid. Determination of the convection constants of small platinum wires with applications to hot wire anemometry. *Phil. Trans. R. Soc.*, 214, A, 1914.
- 3- B.G. VAN DER HEGGE ZIJNEN. Modified Correlation formula for the heat Transfers by Natural and by forced Convection from Horizontal Cylinders - *Appl. Sci. Res.*, Sec. A. Vol. 6 pp. 129-140 (1956).
- 4- M.R. DEVIS and P.O.A.L. DAVIES - Factors Influencing the Heat Transfer from Cylindrical Anemometer Probes. *Journal of Heat and Mass Transfer* VOL-15 pp-1659-1677 (1972).
- 5- B. GEBHART, T. AUDUNSON and L. PERA - Forced, Mixed and Natural Convection from Long Horizontal Wires, Experiments at Various Prandtl Numbers - Preprints of Fourth International Heat Transfer Conference Paris-Versailles 1970.
- 6- ANDREWS (G.E.) BRADLEY (D) et MUNDY (G.F.). Hot wire anemometer calibration for measurements of small gas velocities *I.J.H.M.T.*, 15, 1972.
- 7- H. Chokouhmand, "Convection Naturelle en mur Plan - Revue generale du probleme". *C.E.A. No. 1866 Moi* (1976)
- 8- H. Chokouhmand, "An Experimental study of Transition Natural convection Boundary Layers", paper presented at the first Asian Congress of fluid Mechanics, Bangalore, December 8-13, 1980.
- 9- H. Chokouhmand, "Local heat transfer coefficient in natural convection transition region. *Reg. J. Energy Heat Mass Transfer* Vol 2/No. 2. 1980.