

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งเสริมการเรียนรู้และการช่วยคำนวณออกแบบ
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



นายจักรพรรดิ หิรัญญสมบัติ
นางสาวสุรางคณา อ่ำโพธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 36752
วัน, เดือน, ปี..... 28 ส.ค. 2543

**A Computer Program for Promotion of Learning
and Help to Calculation Design Heat Exchangers**

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst at the top. The umbrella is flanked by two stylized figures holding ceremonial objects. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the text "สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" in Thai script.

Mr. Jugrapot Hirunyasombut

Ms. Surangkana Umpo

**A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

1999

ปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งเสริมการเรียนรู้และการช่วยคำนวณ

ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

โดย นายจักรพรรดิ หิรัญญสมบัติ

นางสาวสุรางคณา อ่ำโพธิ์

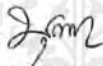
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)


กรรมการ
(ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)


กรรมการ
(นายนภกร คุ้มพิพิธ)

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งเสริมการเรียนรู้และการช่วยคำนวณออกแบบ
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

โดย นายจักรพรรดิ หิรัญญสมบัติ
นางสาวสุรางคณา อ่ำโพธิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา นายบุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้เดลไฟล์ สำหรับช่วยส่งเสริมการเรียนรู้และช่วยคำนวณออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และแสดงผลเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด เนื้อหาในโปรแกรมแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ในส่วนของประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ได้แสดงรายละเอียดและภาพประกอบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ ในส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทฤษฎีซึ่งจะแสดงรายละเอียด ภาพประกอบ และสมการที่ใช้ในการคำนวณ และส่วนการคำนวณซึ่งโปรแกรมจะคำนวณค่าที่ต้องการทราบ โดยทำการคำนวณค่าความดันลดในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วิธีการที่ใช้ในการคำนวณคือ วิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (LMTD) และวิธีเอฟเฟคทีฟเนส-เอ็นทียู (effectiveness-NTU) จากการใช้โปรแกรมพบว่า ผลการคำนวณที่ได้ มีความถูกต้องรวดเร็ว และแสดงผลได้น่าสนใจ

A COMPUTER PROGRAM FOR PROMOTION OF LEARNING AND HELP TO CALCULATION DESIGN HEAT EXCHANGERS

By Mr. Jugrapot Hirunyasombut

Ms. Surangkana Umpo

Advisor Mr. Boonchai Chotiviriyavanit

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project was the computer programming by using Delphi for promotion of learning and help to calculation design heat exchangers and all displays were in English. There were three parts in this program, including types of heat exchanger, double pipe heat exchanger, and shell and tube heat exchanger. In the part of types of heat exchanger showed details and pictures of heat exchangers. In the part of double pipe heat exchanger and shell and tube heat exchanger, there were two parts comprising of the theory that showed details, pictures, and equations used in calculation and the calculation part whose program would calculate the values required by calculating pressure drop in heat exchanger, heat-transfer coefficients, area for heat transfer of heat exchanger, and performance of heat exchanger. Methods used in calculation were log mean temperature different and effectiveness-NTU. It is found from running program that the calculation results were correct, quickly, and were shown in interesting displays.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ท่าน ดังนี้

อาจารย์บุญชัย โชติวิริยาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ให้คำปรึกษาและแนวทาง ทั้งยังช่วยตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา และอาจารย์สันติ วัฒนานุสรณ์ อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำแนวทางในการเขียนโปรแกรมและรายละเอียดของเนื้อหา อาจารย์นภกร อัมพิพิธ อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำเรื่องคำศัพท์และรูปแบบปริญญานิพนธ์

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้จัดทำต้องกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้สนับสนุนการศึกษาตลอด 4 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งความห่วงใยและกำลังใจในการทำโครงการนี้ ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ปริญญานิพนธ์นี้จึงสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้

จักรพรรดิ หิรัญญสมบัติ

สุรางคณา อ่ำโพธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ	3
2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	8
2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ	17
บทที่ 3 แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม	47
3.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	47
3.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ	57
บทที่ 4 รูปแบบโปรแกรม	65
4.1 ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	65
4.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	66
4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ	66
4.4 การใช้งานส่วนใหญ่ของโปรแกรม	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	76
5.1 ข้อสรุป	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
รายการอ้างอิง	78
ภาคผนวก ก	
สมบัติทางกายภาพของสารต่าง ๆ	80
ภาคผนวก ข	
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (บางส่วน)	86



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	ความสัมพันธ์ของ ε สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	
	โดยที่ $NTU = UA/C_{\min}$ และ $C_r = C_{\min}/C_{\max}$	39
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ของ NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	
	โดยที่ $NTU = UA/C_{\min}$ และ $C_r = C_{\min}/C_{\max}$	41



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รีคิเวอร์เรชันและรีเจนเนอเรชัน	4
รูปที่ 2.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบของไหลทั้งสองสัมผัสกันโดยตรงและ ของไหลทั้งสองไม่สัมผัสกันโดยตรง	4
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาการถ่ายเทความร้อนเดี่ยวและสองวัฏภาค	5
รูปที่ 2.4 รูปร่างลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	6
รูปที่ 2.5 แผนภูมิต้นไม้มองอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	7
รูปที่ 2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	9
รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิที่เข้าและออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย	14
รูปที่ 2.8 โพรไฟล์ของอุณหภูมิของการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อสองชั้นหลายหน่วย	15
รูปที่ 2.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่	18
รูปที่ 2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อรูปตัว U	19
รูปที่ 2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดทวนลอย	20
รูปที่ 2.12 ประเภทของเซลล์และประเภทของหัวด้านหน้าและด้านหลังของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ (ตาม TEMA)	21
รูปที่ 2.13 รูปแบบโครงสร้างของท่อ	23
รูปที่ 2.14 ชนิดของบัฟเฟิล	25
รูปที่ 2.15 บัฟเฟิลคัทและรูปแบบของบัฟเฟิลคัท	26
รูปที่ 2.16 ผลจากขนาดของบัฟเฟิลคัท	27
รูปที่ 2.17 การกระจายการไหลในเซลล์	28
รูปที่ 2.18 กระแสการไหลในเซลล์	29

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.1	แผนภูมิการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย	47
รูปที่ 3.2	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลในท่อ ด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย	48
รูปที่ 3.3	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลในท่อ ด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย	49
รูปที่ 3.4	แผนภูมิการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิ 4 จุดของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	50
รูปที่ 3.5	แผนภูมิการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหล ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	51
รูปที่ 3.6	แผนภูมิการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อสองชั้นหลายหน่วย	52
รูปที่ 3.7	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลแบบขนาน และของไหลร้อนไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อสองชั้นหลายหน่วย	53
รูปที่ 3.8	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลแบบขนาน และของไหลเย็นไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ ท่อสองชั้นหลายหน่วย	54
รูปที่ 3.9	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลแบบขนาน และของไหลร้อนไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ สองชั้นหลายหน่วย	55

สารบัญรูป (ต่อ)

- หน้า

รูปที่ 3.10	แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลแบบขนาน และของไหลเย็นไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ สองชั้นหลายหน่วย	56
รูปที่ 3.11	แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่าง ๆ	57
รูปที่ 3.12	แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลแบบตั้งฉาก	58
รูปที่ 3.13	แผนภูมิการคำนวณค่า F_{∞}	58
รูปที่ 3.14	แผนภูมิการคำนวณค่าสัดส่วนการไหลของแต่ละกระแส	59
รูปที่ 3.15	แผนภูมิการคำนวณค่าความดันลดในเซลล์	59
รูปที่ 3.16	แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์	59
รูปที่ 3.17	แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ	60
รูปที่ 3.18	แผนภูมิการคำนวณค่าความดันลดในท่อ	60
รูปที่ 3.19	แผนภูมิการคำนวณค่า ΔT_{LM}	61
รูปที่ 3.20	แผนภูมิการคำนวณค่า F	61
รูปที่ 3.21	แผนภูมิการคำนวณค่า ΔT_M	61
รูปที่ 3.22	แผนภูมิการคำนวณค่า Q	62
รูปที่ 3.23	แผนภูมิการคำนวณค่า U	62
รูปที่ 3.24	แผนภูมิการคำนวณค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	63
รูปที่ 3.25	แผนภูมิการคำนวณค่าขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	64
รูปที่ 4.1	หน้าจอหลักของโปรแกรม	68
รูปที่ 4.2	ประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	69
รูปที่ 4.3	ตัวอย่างภาพประกอบจากปุ่ม picture	70
รูปที่ 4.4	ตัวอย่างภาพประกอบที่มีการแสดงรายละเอียดได้	71
รูปที่ 4.5	ตัวอย่างหน้าจอการใส่ข้อมูล	72
รูปที่ 4.6	ตัวอย่างหน้าจอแสดงสมบัติของของไหล	73

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างหน้าจอกำหนด	74
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างหน้าจอแสดงทฤษฎี	75



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	ค่าคงที่
A	พื้นที่ผิวของการถ่ายเทความร้อน (ตารางเมตร)
B_o	อัตราร้อยละบัฟเฟิลคัท (%)
c_{pc}	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลเย็น (จูล/กิโลกรัม เคลวิน)
c_{ph}	ความจุความร้อนจำเพาะของของไหลร้อน (จูล/กิโลกรัม เคลวิน)
C	ผลคูณของอัตราการไหลเชิงมวลและความจุความร้อนจำเพาะของของไหล (วัตต์/เคลวิน)
C_r	อัตราความจุ
D_1, D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (เมตร)
D_2	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (เมตร)
D_{onL}	เส้นผ่านศูนย์กลางของมัดท่อ (เมตร)
D_{ei}	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกเฉลี่ย (เมตร)
D_s	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์ (เมตร)
f_o	แฟกเตอร์ความเสียดทาน
F	แฟกเตอร์แก้ไข
F_b	สัดส่วนการไหลสำหรับทางเลี้ยวมัดท่อ
F_c	สัดส่วนของท่อในการไหลตั้งฉาก
F_{cr}	สัดส่วนการไหลแบบตั้งฉากต่อการไหลในมัดท่อ
F_s	สัดส่วนการไหลสำหรับระยะของเซลล์ไปยังบัฟเฟิล
F_t	สัดส่วนการไหลสำหรับระยะของท่อไปยังบัฟเฟิล
K_f	ตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันกับเรโนลด์นัมเบอร์
L	ความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (เมตร)
L_B	ระยะห่างระหว่างบัฟเฟิล (เมตร)
L_c	ระยะบัฟเฟิลคัท (เมตร)
L_s	ความยาวของเซลล์ (เมตร)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

m_t	ฟลักซ์ของมวลในท่อ (กิโลกรัม/ตารางเมตร เคลวิน)
M_c	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเย็น (กิโลกรัม/วินาที)
M_h	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลร้อน (กิโลกรัม/วินาที)
n	จำนวนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
n_a, n_{cb}, n_p	สัมประสิทธิ์ที่ใช้ประกอบ
n_b	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลในทางเลี้ยง
n_c	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลแบบตั้งฉาก
n_s	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการรั่วซึมของเซลล์สूपฟ์เฟิล
n_t	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการรั่วซึมของท่อสूपฟ์เฟิล
n_w	สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลในช่องเปิด
N	จำนวนบัพเฟิล
NTU	จำนวนของหน่วยถ่ายเทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
N_c	จำนวนของแถวที่มีการไหลตั้งฉาก
N_{ss}	จำนวนซิลลิง สตรีป
N_T	จำนวนท่อ
P	ตัวแปรสัดส่วนของอุณหภูมิ
P'	ตัวแปรสัดส่วนของอุณหภูมิในการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย
Pr	แฟลนทันทัมเบอร์
P_T	ระยะทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างท่อ 2 ท่อที่อยู่ใกล้กัน (เมตร)
P_{TP}	ช่องว่างระหว่างแถวของท่อในทิศทางการไหล (เมตร)
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์)
r	ความต้านทานความร้อนของชั้นสิ่งเกาะติด (ตารางเมตร เคลวิน/วัตต์)
R	ตัวแปรสัดส่วนของอุณหภูมิ
R'	ตัวแปรสัดส่วนของอุณหภูมิในการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Re	เรโนลด์นัมเบอร์
Re_t	เรโนลด์นัมเบอร์ด้านท่อ
S	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)
S_b	พื้นที่การไหลของทางเลียง (ตารางเมตร)
S_m	พื้นที่การไหลใกล้แนวกึ่งกลาง (ตารางเมตร)
S_s	พื้นที่ระหว่างเซลล์และบัฟเฟิล (ตารางเมตร)
S_t	พื้นที่ระหว่างท่อและบัฟเฟิล (ตารางเมตร)
S_w	พื้นที่การไหลผ่านบัฟเฟิลคัท (ตารางเมตร)
t_b	ความหนาของบัฟเฟิล (เมตร)
$T_{c,in}$	อุณหภูมิของของไหลเย็นด้านเข้า (เคลวิน)
$T_{c,out}$	อุณหภูมิของของไหลเย็นด้านออก (เคลวิน)
$\bar{T}_{c,out}$	อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของของไหลเย็นจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลายหน่วย (เคลวิน)
$T_{h,in}$	อุณหภูมิของของไหลร้อนด้านเข้า (เคลวิน)
$T_{h,out}$	อุณหภูมิของของไหลร้อนด้านออก (เคลวิน)
u_1	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสิ่งเกาะติดภายนอกท่อ (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
u_2	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสิ่งเกาะติดภายในท่อ (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
V	ความเร็วของของไหล (เมตร/วินาที)
α	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
α_s	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์ (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
α	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ (วัตต์/ตารางเมตร เคลวิน)
Δby	ความแตกต่างระหว่างระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของมัดท่อและเซลล์ (เมตร)
ΔP	ความดันลดต่อระยะของบัฟเฟิล (ปาสคาล)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ΔP_s	ความดันลดทั้งหมดในเซลล์ (ปาสคาล)
ΔP_t	ความดันลดในท่อ (ปาสคาล)
ΔT_{LM}	ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิธึม (เคลวิน)
ΔT_M	ความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างแท้จริง (เคลวิน)
ε	ค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
η	ความหนืดของของไหล (นิวตัน วินาที/ตารางเมตร)
η_t	ความหนืดของของไหลในท่อ (นิวตัน วินาที/ตารางเมตร)
κ	การแพร่ของความร้อน (ตารางเมตร/วินาที)
ρ	ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)
ν	ความหนืดคิเนมาติก (ตารางเมตร/วินาที)
λ	การนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)
λ_w	การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำผนัง (วัตต์/เมตร เคลวิน)
δ_{by}	ความแตกต่างระหว่างระยะรัศมีของมัดท่อและเซลล์ (เมตร)
δ_{pp}	ระยะของช่องว่างในมัดท่อของสายการไหล (เมตร)
δ_{sb}	ความแตกต่างระหว่างระยะของบัฟเฟิลและเซลล์ (เมตร)
θ	ความสัมพันธ์ของสัดส่วนอุณหภูมิ (P และ R)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือที่สำคัญในกระบวนการอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมอาหารและยา ฯลฯ โดยใช้เพื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหล ช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อน เช่น ในระบบหม้อไอน้ำซึ่งสามารถผลิตไอน้ำใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อีกด้วย การเรียนรู้และทำความเข้าใจถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การทำงาน และการเลือกใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นมากเพื่อช่วยให้ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ช่วยประหยัดพลังงาน และลดต้นทุนการผลิตในที่สุด

ได้มีตำราและเอกสารจำนวนมากที่ให้ความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แต่เพื่อความสะดวกในการเรียนรู้ การทำความเข้าใจ และการใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน จึงมีการจัดทำเนื้อหาเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้เห็นภาพลักษณ์ได้ง่าย เป็นรูปธรรม แสดงรายละเอียดของรูปภาพได้ชัดเจน คำนวณได้รวดเร็ว อีกทั้งการแสดงผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะช่วยให้เนื้อหาต่าง ๆ น่าสนใจและน่าติดตามมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ส่วนของเนื้อหาประกอบด้วยรายละเอียดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ ทฤษฎีและการคำนวณของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นและแบบเชลล์และท่อ โดยใช้การเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ด้วยเดลโฟล์ ทั้งนี้การแสดงผลทั้งหมดจะเป็นภาษาอังกฤษ เนื่องจากให้ผลดีในการแสดงผลทั้งส่วนของทฤษฎีและการคำนวณ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

การเขียนโปรแกรมเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ทั้งด้านทฤษฎีและด้านการช่วยคำนวณออกแบบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1.3.2 ศึกษาเทคนิคและวิธีการในการเขียนโปรแกรมด้วยเดสก์ท็อป

1.3.3 รวบรวมแนวคิดทั้งในเรื่องทฤษฎีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการเขียนโปรแกรม

1.3.4 เขียนโปรแกรมและจัดทำรูปแบบโปรแกรมสำหรับช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยแบ่งเป็น

1.3.4.1 แสดงรายละเอียดคร่าว ๆ และภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ

1.3.4.2 แสดงรายละเอียดในส่วนทฤษฎีและส่วนคำนวณของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นและแบบเซลล์และท่อ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น

1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมมากขึ้น

1.4.3 ได้โปรแกรมส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

1.4.4 วิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

เนื้อหา ทฤษฎี และวิธีการคำนวณต่าง ๆ เกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้บรรจุในโปรแกรมประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ดังแสดงรายละเอียดอย่างคร่าว ๆ ดังนี้

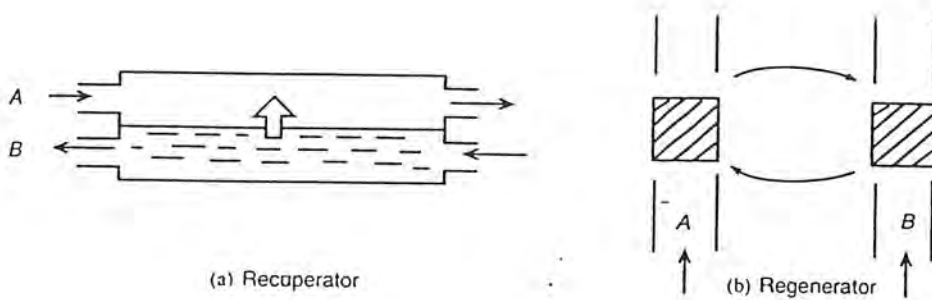
2.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ

หลักเกณฑ์ 4 ประการที่สำคัญในการจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ [1]

2.1.1 รีคิวเปอร์เรชันและรีเจนเนอเรชัน (recuperation and regeneration)

รีคิวเปอร์เรชัน คือ ลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนจากกระแสร้อนไปยังกระแสเย็น โดยเกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเกิดการถ่ายเทผ่านผนังที่แยกกระแสร้อนและเย็น หรือการถ่ายเทผ่านผิวสัมผัสระหว่างกระแสร้อนและเย็น อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่ว ๆ ไปมักมีลักษณะเช่นดังกล่าว

รีเจนเนอเรชัน คือ ลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการผ่านวัสดุที่ดูดกลืนความร้อน ซึ่งมักเป็นของแข็ง เข้าสู่กระแสร้อนและกระแสเย็น หรือโดยการใช้การไหลของกระแสร้อนและกระแสเย็นผ่านวัสดุดูดกลืนความร้อนที่อยู่กับที่ก็ได้ ของแข็งนั้น ๆ ในกระแสเย็นจะสูญเสียความร้อน ในขณะที่ของแข็งในกระแสร้อนจะร้อนมากขึ้น

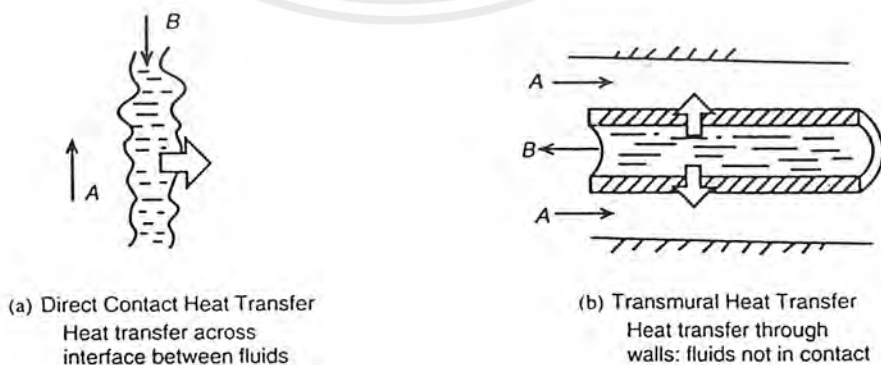


รูปที่ 2.1 (a) รีคิวเปอร์เรชั่น และ (b) รีเจนเนอเรชั่น

2.1.2 การถ่ายเทความร้อนแบบของไหลทั้งสองสัมผัสกันโดยตรงและแบบของไหลทั้งสองไม่สัมผัสกันโดยตรง (direct contact and transmural heat transfer)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ของไหลทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง จะไม่มีผนังกั้นระหว่างกระแสน้ำและกระแสน้ำมัน ของไหลทั้งสองจะมาสัมผัสกัน เกิดผิวสัมผัสซึ่งจะเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยกระแสน้ำและกระแสน้ำมันอาจจะเป็นก๊าซ-ของเหลว ของเหลวสองชนิดที่ไม่ผสมกัน หรือเป็นอนุภาคของแข็งกับของไหลก็ได้

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทที่ของไหลทั้งสองไม่สัมผัสกันโดยตรง จะมีช่องทางเฉพาะให้กระแสน้ำและกระแสน้ำมันไหล การถ่ายเทความร้อนจะเกิดผ่านผนังของช่องทางไหลที่แยกกระแสน้ำทั้งสองออกจากกัน



รูปที่ 2.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ (a) ของไหลทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง และ (b) ของไหลทั้งสองไม่สัมผัสกันโดยตรง

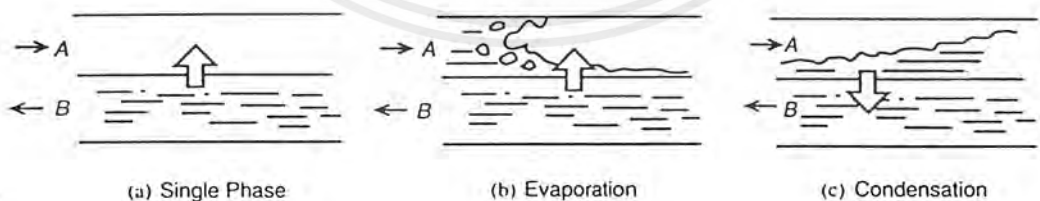
2.1.3 ปรากฏการณ์วัฏภาคเดียว และ ปรากฏการณ์สองวัฏภาค (single phase and two phase)

ปรากฏการณ์วัฏภาคเดียว คือ การที่ของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหนึ่ง ๆ มีวัฏภาคเพียงวัฏภาคเดียว และขณะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของของไหล

ปรากฏการณ์สองวัฏภาค คือ การที่ของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีสองวัฏภาค โดยเกิดการกลายเป็นไอหรือการควบแน่น ในกระแสนร้อนหรือกระแสนเย็นหรือในทั้งสองกระแส ลักษณะที่เป็นไปได้ในกรณีสองวัฏภาค คือ

- ของไหล A ถูกทำให้กลายเป็นไอ (evaporation) โดยรับความร้อนจากของไหล B ตามรูป
- ของไหล A ถูกทำให้ควบแน่น (condensation) โดยให้ความร้อนแก่ของไหล B ตามรูป

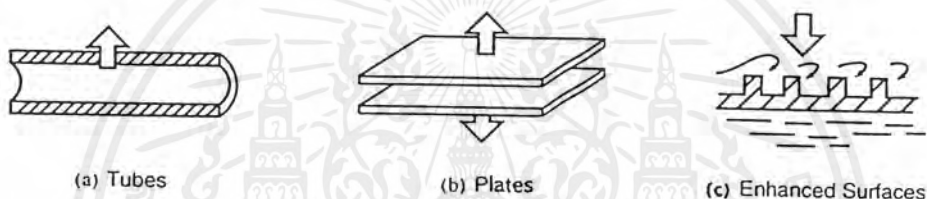
การเกิดระบบสองวัฏภาคในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้เกิดความซับซ้อนมากกว่าในระบบวัฏภาคเดียว แต่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบสองวัฏภาคที่สำคัญ เช่น หม้อไอน้ำ ซึ่งนิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานในอุตสาหกรรมจำนวนมาก



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์วัฏภาคเดียวและสองวัฏภาค โดย (a) วัฏภาคเดียว (b) การระเหยเป็นไอ และ (c) การควบแน่น

2.1.4 รูปร่างลักษณะ (geometry) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

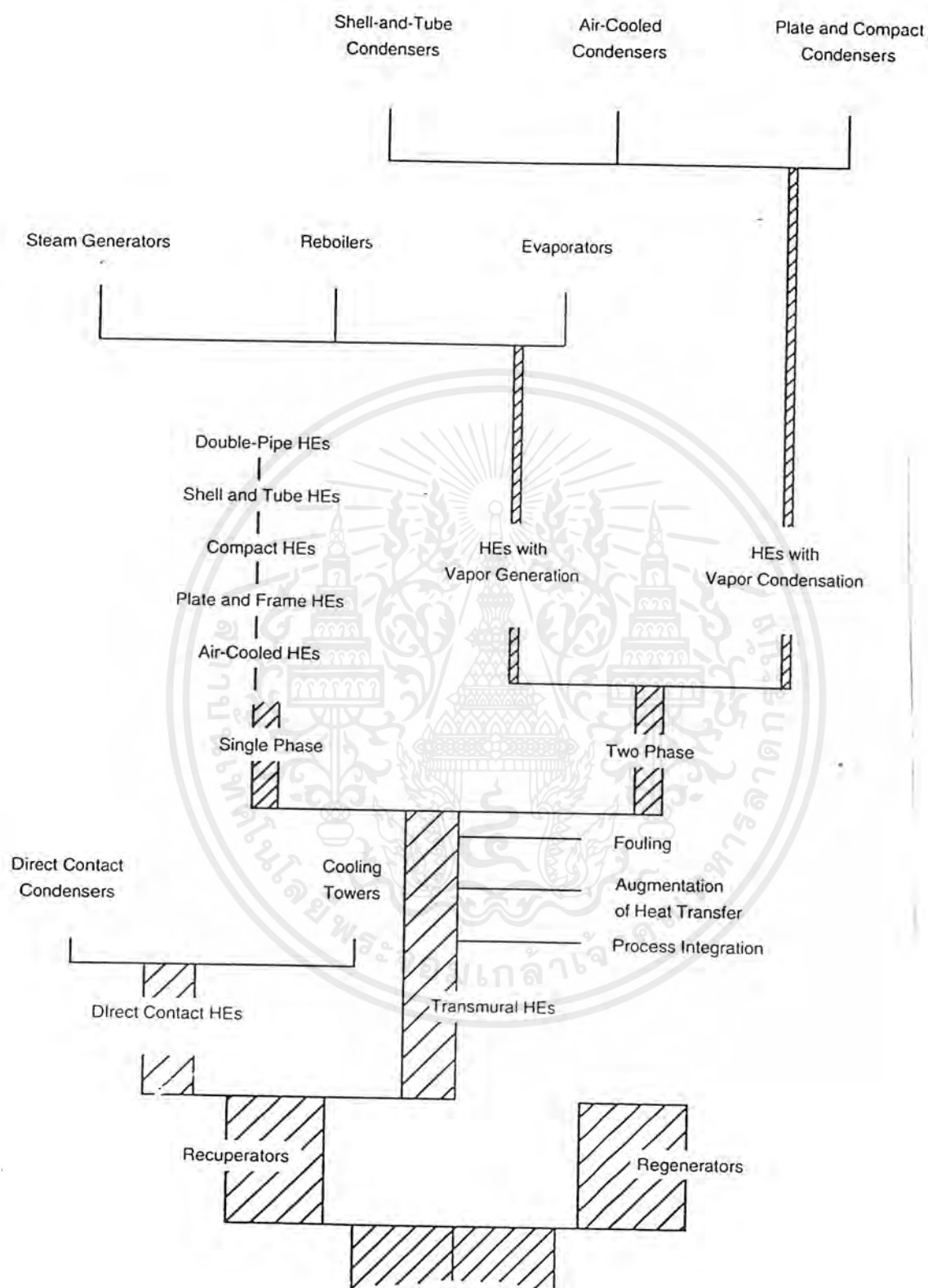
รูปร่างลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คือ การแบ่งตามขนาดและรูปร่างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน - โดยขนาดและรูปร่างจะเปลี่ยนแปลงตามหน้าที่ ความสามารถ และราคา ในกรณีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของช่องทางการไหลของของไหลทั้งสอง (transmural heat exchangers) จะแบ่งตามรูปร่างของช่องทางการไหลของของไหล โดยรูปร่างลักษณะที่นิยมใช้งานโดยทั่วไป เช่น แบบท่อกลม ช่องระหว่างแผ่นแบน และผิวที่มีครีบเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 2.4 รูปร่างลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ (a) ท่อกลม

(b) ช่องว่างระหว่างแผ่นแบน และ (c) ผิวที่มีครีบ

จากหลักเกณฑ์ทั้ง 4 สามารถแบ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ตามแผนภูมิต้นไม้ ดังรูปที่ 2.5 (รายละเอียดได้แสดงในโปรแกรม)

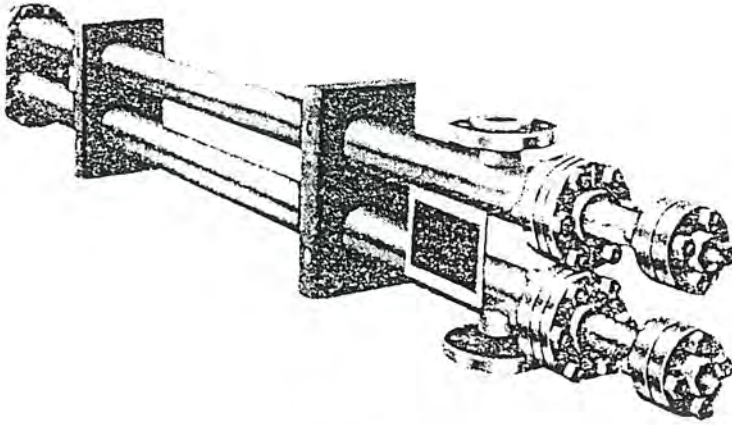


รูปที่ 2.5 แผนภูมิต้นไม้ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double Pipe Heat Exchanger)

โครงสร้างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ ประกอบด้วยท่อ 2 ขนาดซ้อนกันอยู่ โดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อใน และของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูปร่างแหวนระหว่างท่อในและท่อนอก โดยทั่วไปปลายข้างหนึ่งจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยท่อโค้งรูปตัว U เครื่องแบบนี้เหมาะสำหรับการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหลภายในท่อที่มีความดันสูง ความหนืดสูง หรือฤทธิ์กัดกร่อนสูง ในบางครั้งจะใช้ท่อที่มีครีปเป็นท่อชั้นในเพื่อเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อนและความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่อง [2]

ลักษณะเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น คือ โครงสร้างค่อนข้างง่าย ราคาของเครื่องต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมีราคาถูก และเมื่อมีความจำเป็น สามารถเพิ่มความสามารถทำงานได้ง่าย โดยการเอาเครื่องที่มีส่วนคล้ายกันหลาย ๆ ชุดมาต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน เมื่อให้ของไหลไหลสวนทางกันด้วยความเร็วที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะมีค่าสูงในขณะที่ความดันสูญเสียมีค่าต่ำ แต่เมื่อขนาดของเครื่องเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาตรของเครื่องต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มตามขึ้น ทำให้ราคาของเครื่องค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอื่น ดังนั้นจึงควรเลือกใช้เครื่องแบบนี้ในกรณีที่ปริมาณการถ่ายเทความร้อนมีค่อนข้างน้อย หรือในกรณีที่ต้องการพื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า 20 ตารางเมตร ตัวอย่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.6 [1]



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

2.2.1 การคำนวณ

สมการสำคัญที่ใช้ในการคำนวณ มีดังนี้ [1]

2.2.1.1 อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q , heat-transfer rate)

จากความสัมพันธ์ของอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) อุณหภูมิของของไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ (T) และอัตราการไหลเชิงมวลของของไหล (M) จะได้สมการ

$$Q = M_c c_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) = M_h c_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2.1)$$

เมื่อ

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิ

M_c = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเย็น

M_h = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลร้อน

สามารถเขียนอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ในรูปของความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็นได้ ดังนี้

$$Q = UA\Delta T_{LM} \quad (2.2)$$

เมื่อ

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ΔT_{LM} = ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิทึม

2.2.1.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U , overall heat-transfer coefficient)

สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{u_1} + \frac{D_1}{2\lambda_w} \ln\left(\frac{D_1}{D_2}\right) + \frac{1}{u_2} \left(\frac{D_1}{D_2}\right) \quad (2.3)$$

โดย

$$\frac{1}{u} = r + \frac{1}{\alpha}$$

เมื่อ

u_1 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสิ่งเกาะติดภายนอกท่อ

u_2 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านผิวสิ่งเกาะติดภายในท่อ

λ_w = การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ทำผนัง

D_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ

D_2 = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

r = ความต้านทานความร้อนของชั้นสิ่งเกาะติด

α = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

2.2.1.3 ผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกการิธึม (ΔT_{LM} , log mean temperature difference)

ทำการคำนวณได้ดังนี้

- ในกรณีของไหล 2 กระแสไหลสวนทางกัน (countercurrent flow)

$$\Delta T_{LM} = \frac{[(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})]}{\ln[(T_{h,in} - T_{c,out}) / (T_{h,out} - T_{c,in})]} \quad (2.4)$$

- ในกรณีของไหล 2 กระแสไหลทางเดียวกัน (cocurrent flow)

$$\Delta T_{LM} = \frac{[(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})]}{\ln[(T_{h,in} - T_{c,in}) / (T_{h,out} - T_{c,out})]} \quad (2.5)$$

ถ้าให้

$$R = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{c,out} - T_{c,in}} = \frac{M_c c_{pc}}{M_h c_{ph}} \quad (2.6)$$

และ

$$P = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad (2.7)$$

จัดรูปจากสมการที่ (2.4) และ (2.2) จะได้

$$\frac{Q}{UA} = \Delta T_{LM} = (T_{h,in} - T_{c,in}) \frac{P(R-1)}{\ln[(1-P)/(1-PR)]} \quad (2.8)$$

แทนสมการที่ (2.1) ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$\frac{M_c c_{pc}}{UA} = \frac{(R-1)}{\ln[(1-P)/(1-PR)]} \quad (2.9)$$

และ

$$\frac{M_h c_{ph}}{UA} = \frac{(R-1)/R}{\ln[(1-P)/(1-PR)]} \quad (2.10)$$

2.2.1.4 ความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (L , length of heat exchanger)

สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [1]

$$L = \frac{A}{\pi D_1} \quad (2.11)$$

2.2.1.5 ความดันลดในท่อ (ΔP , pressure drop)

สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [1]

$$\Delta P_t = 4f_0 \frac{L}{D_2} \frac{\rho_i V_i^2}{2} \quad (2.12)$$

โดย $f_0 = \frac{16}{Re}$ ในกรณีที่การไหลเป็นแบบลามินาร์ (laminar flow)

$$f_0 = 0.079 Re^{-1/4} \text{ ในกรณีที่ } Re \leq 2 \times 10^4$$

$$f_0 = 0.046 Re^{-1/5} \text{ ในกรณีที่ } Re > 2 \times 10^4$$

$$Re_i = \frac{V_i D_{ei}}{v_i} \quad \text{ซึ่ง } D_{ei} = D_2 \quad (2.13)$$

$$V_i = \frac{M_i}{S_i \rho_i} \quad (2.14)$$

เมื่อ

f_0 = แฟกเตอร์ความเสียดทาน

v_i = ความหนืดคิเนมาติก

S_i = พื้นที่หน้าตัด

2.2.2 วิธีการและขั้นตอนการคำนวณหาพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน (A)

1) หา U จากสมการที่ (2.3)

2) หาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ไม่ทราบค่าโดยใช้สมการที่ (2.1)

3) หาค่า R และ P จากสมการที่ (2.6) และ (2.7)

4) คำนวณพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน (A) จากสมการที่ (2.9) หรือ (2.10)

2.2.3 วิธีการและขั้นตอนการคำนวณหาสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

คำนวณหาค่า M หรือ T เมื่อทราบค่า A แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

2.2.3.1 กรณีที่ทราบอุณหภูมิทั้ง 4 จุด ($T_{c,out}$, $T_{c,in}$, $T_{h,in}$, $T_{h,out}$) คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (M) ของกระแสน้ำร้อนและกระแสน้ำเย็น ทำได้โดย

- กำหนดค่า A
- คำนวณค่า R และ P จากสมการที่ (2.6) และ (2.7)
- แทนค่า P , R , A และ U (จากหัวข้อ 2.2.3.1) ในสมการที่ (2.9) และ (2.10) จะได้ M_c , M_h

2.2.3.2 กรณีที่ทราบอัตราการไหลเชิงมวล (M) และอุณหภูมิขาเข้าของของไหลทั้งสอง คำนวณหาอุณหภูมิขาออกของของไหลร้อนและของไหลเย็น ($T_{c,out}$, $T_{h,out}$) ทำได้โดย

- กำหนดค่า A
- คำนวณค่า R จากสมการที่ (2.6)
- หา P จากสมการที่ (2.9) หรือ (2.10)
- หา $T_{c,out}$ จากสมการที่ (2.7)
- แทน $T_{c,out}$ ในสมการที่ (2.6) จะได้ $T_{h,out}$

2.2.4 การจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย (Parallel/ Series Arrangements of Double-Pipe Heat Exchangers)

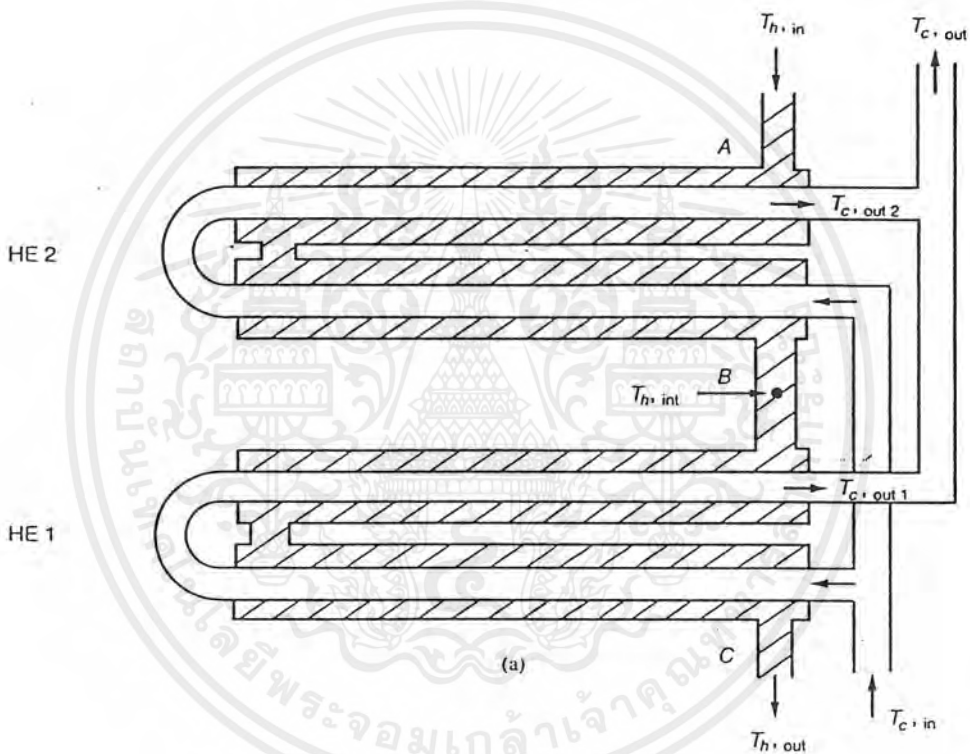
2.2.4.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2 หน่วยต่อกัน โดยที่ของไหลเย็นไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลแบบอนุกรม ในการพิจารณามีสมมติฐาน ดังนี้

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าคงที่
- ความร้อนจำเพาะของของไหลทั้งสองมีค่าคงที่
- การไหลเชิงมวลของกระแสเย็นถูกแบ่งให้เท่ากันระหว่างอุปกรณ์

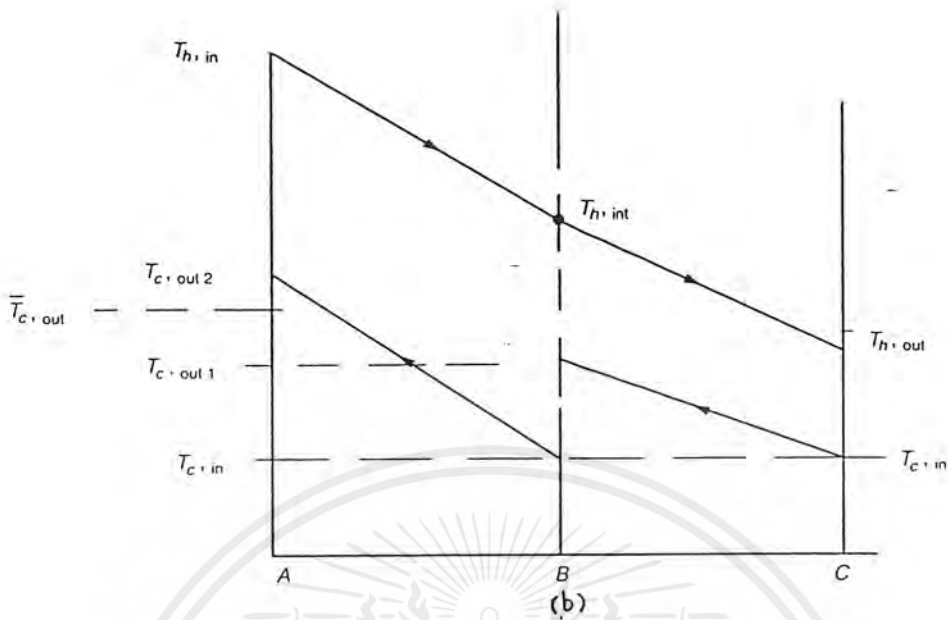
แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 ตัว

- พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ทั้ง 2 ตัวเท่ากัน

ซึ่งลักษณะของอุปกรณ์แสดงในรูปประกอบดังรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิที่เข้าและออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย



รูปที่ 2.8 โปรไฟล์ของอุณหภูมิของการจัดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่สองชั้น
หลายหน่วย

การคำนวณในเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่สองชั้น
หลายหน่วย สามารถทำได้ดังนี้

กำหนดให้
$$R' = \frac{(M_c/2)c_{pc}}{M_h c_{ph}} = \frac{1}{2} \frac{M_c c_{pc}}{M_h c_{ph}} = \frac{R}{2} \quad (2.15)$$

และ
$$P' = \frac{T_{c,out1} - T_{c,in}}{T_{h,int} - T_{c,in}} = \frac{T_{c,out2} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad (2.14)$$

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature different) จะเปลี่ยน
ไปจากในกรณีที่มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพียงตัวเดียว

จะได้
$$Q = UA \Delta T_M \quad (2.17)$$

หรือ
$$\frac{Q}{UA} = \Delta T_M = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})(R' - 1)/R}{\ln \left\{ \left(\frac{(R' - 1)/R'}{(T_{h,in} - T_{c,in})/(T_{h,out} - T_{c,in})} \right)^{1/2} + 1/R' \right\}} \quad (2.18)$$

โดย $\Delta T_M =$ ความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างแท้จริง

ถ้า
$$\bar{T}_{c,out} = (T_{c,out1} + T_{c,out2})/2 \quad (2.19)$$

จะได้
$$R = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{\bar{T}_{c,out} - T_{c,in}} \quad (2.20)$$

และ
$$P = \frac{\bar{T}_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad (2.21)$$

ดังนั้น จากสมการที่ (2.18) จะได้

$$\frac{Q}{UA} = \Delta T_M = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})(R/2 - 1)/R}{\ln \left\{ ((R/2 - 1)/(R/2))(1/(1 - PR))^{1/2} + 1/(R/2) \right\}} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) จัดรูปตัวแปรใหม่ขึ้นมา คือ

$$Q = UA\theta(T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2.23)$$

โดย

$$\theta = \frac{P(R/2 - 1)}{\ln \left\{ ((R/2 - 1)/(R/2))(1/(1 - PR))^{1/2} + 1/(R/2) \right\}} \quad (2.24)$$

2.2.4.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน n ตัว โดยที่ของไหลเย็นไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลแบบอนุกรม

จากสมการที่ (2.24) ถ้าของไหลเย็นแยกไหลแบบขนานเท่ากันสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน n ตัว จะได้

$$\theta = \frac{P(R/n - 1)}{\ln \left\{ ((R/n - 1)/(R/n))(1/(1 - PR))^{1/n} + 1/(R/n) \right\}} \quad (2.25)$$

2.2.4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน n ตัว โดยที่ของไหลร้อนไหลแบบขนานและของไหลเย็นไหลแบบอนุกรม และมีสมมติฐาน คือ การไหลเชิงมวลของของไหลร้อนมีค่าเท่ากันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทุกตัว (n ตัว) จะได้

$$\theta = \frac{P(1-nR)/n}{\ln \left\{ (1-nR)(1/(1-P))^{1/n} + nR \right\}} \quad (2.26)$$

2.2.4.4 สัดส่วนของความแตกต่างของอุณหภูมิอย่างแท้จริงกับค่าเชิงล็อกการิธึม

จาก $Q = UA\Delta T_M$

โดย $\Delta T_M = FA\Delta T_{LM} \quad (2.27)$

เมื่อ F คือ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของของไหลเข้าและออก

2.2.4.5 ความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

สามารถคำนวณได้จาก

$$L = \frac{A}{\pi D_1 n} \quad (2.28)$$

2.2.4.6 ความดันลดในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (2.12)

โดยที่ L = ความยาวของ 1 ยูนิต

V = ความเร็วของของไหลในยูนิตนั้น ๆ

2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube Heat Exchangers)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดในกระบวนการอุตสาหกรรมเคมี เพราะไม่ถูกจำกัดโดยอุณหภูมิและความดันที่จำเป็นต้องใช้ในอุตสาหกรรม และสามารถใช้กับงานทุกชนิดตั้งแต่การระเหย การเพิ่มความร้อน การระบายความร้อนจนกระทั่งการควบแน่น ยิ่งกว่านั้นยังมีคุณสมบัติโดยเฉลี่ยดีเยี่ยมในแง่ของการผลิต การบำรุงรักษา และราคา

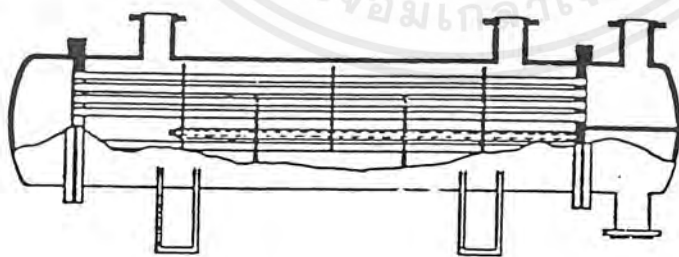
2.3.1 การแบ่งประเภทอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อแบ่งออกได้เป็น 2 จำพวกใหญ่ ๆ คือ จำพวกท่อในแนวระดับ และจำพวกท่อในแนวตั้ง เครื่องจำพวกท่อในแนวระดับเป็นแบบธรรมดาที่สุด ในกรณีที่บริเวณติดตั้งมีจำกัด หรือในกรณีที่ระบบท่อหรือมาตรการติดตั้งบับบังคับให้ท่อถ่ายเทความร้อนตั้งอยู่ในแนวตั้งเท่านั้น จึงจะใช้เครื่องจำพวกท่อในแนวตั้ง เนื่องจากค่าความดันสูญเสียของเครื่องจำพวกท่อในแนวตั้งที่ของไหลไหลผ่านเพียงเที่ยวเดียวมีน้อย เครื่องจำพวกนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องระเหย เครื่องควบแน่น และเครื่องต้มฆ่าแบบกลั่นน้ำเชิงความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อยังแบ่งตามโครงสร้างออกได้เป็นชนิดใหญ่ ๆ 3 ชนิด คือ ชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่ ชนิดท่อรูปตัว U และชนิดหัวลอย

2.3.1.1 ชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่ (Stationary Tubesheet Exchanger)

โครงสร้างเป็นแบบที่แผ่นยึดท่อที่ปลายสองข้างถูกยึดติดแน่นกับเซลล์โดยวิธีเชื่อมโลหะหรืออื่น ๆ ท่อถ่ายเทความร้อนถูกยึดติดกับแผ่นยึดท่อ (Tubesheet) ด้วยวิธีแบ่งท่อ (expanding) เชื่อมโลหะ (welding) หรืออื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 [1]

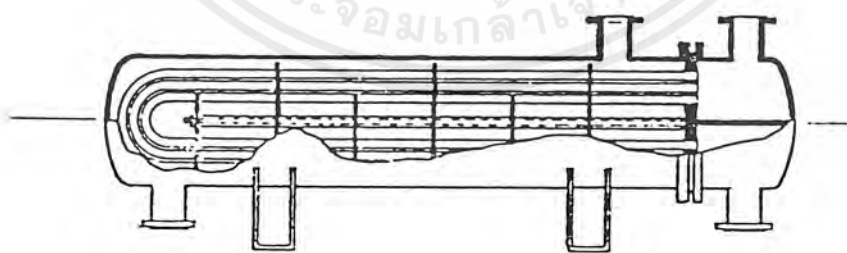


รูปที่ 2.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่

เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องไม่อำนวยความสะดวกในการทำความสะดวกหรือตรวจตราพื้นผิวในของเซลล์ จึงต้องเลือกของไหลในเซลล์ให้เป็นของไหลที่มีฤทธิ์กัดกร่อนน้อย สกปรกน้อย และไม่มีตะกอนปนอยู่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดแผ่นยึดท่ออยู่กับที่นี้ มีโครงสร้างที่ง่ายกว่าชนิดหัวลอย น้ำหนักเบา และราคาถูกกว่า ยิ่งกว่านั้น จำนวนท่อถ่ายเทความร้อนที่ใส่ในเซลล์ได้ก็มากกว่า ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์เท่ากัน

2.3.1.2 ชนิดท่อรูปตัว U (U-Tube Exchanger)

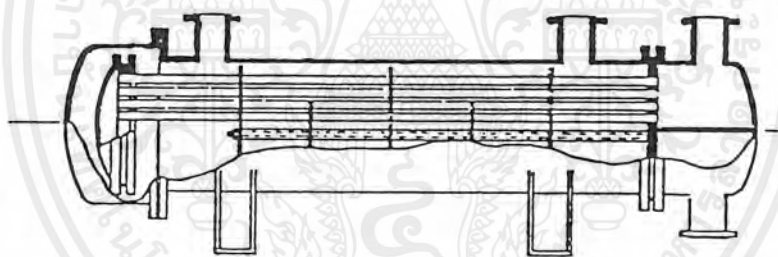
โครงสร้างประกอบด้วยท่อถ่ายเทความร้อนที่ถูกดัดให้เป็นรูปตัว U เพื่อยึดปลายท่อทั้งสองข้างให้อยู่บนแผ่นยึดท่อแผ่นเดียวกัน ผลก็คือ ท่อถ่ายเทความร้อนสามารถขยายตัวได้อย่างอิสระจากเซลล์เมื่อถูกความร้อน โครงสร้างของเครื่องชนิดนี้เป็นแบบง่าย ๆ แสดงดังรูปที่ 2.10 [1] จึงสามารถสร้างได้น้ำหนักเบา เหมาะสำหรับของไหลในท่อที่มีความดันสูง และปริมาณการถ่ายเทความร้อนน้อย เนื่องจากความลำบากในการทำความสะดวกภายในท่อด้วยเครื่องมือทำความสะอาดจึงควรเลือกใช้เฉพาะของไหลในท่อที่มีสิ่งสกปรกน้อย ข้อเสียของเครื่องชนิดนี้คือ ต้องใช้ความระมัดระวังในการสร้าง เพราะรัศมีส่วนโค้งของท่อแต่ละแถวยาวไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อรูปตัว U

2.3.1.3 ชนิดหัวลอย (Floating-Head Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ประกอบด้วยแผ่นยึดท่อที่ตรึงติดกับเซลล์ด้วยโบลท์ (bolt) ที่ปลายด้านหนึ่ง และหัวลอยซึ่งเคลื่อนที่ได้ตามการขยายตัวเนื่องมาจากความร้อน ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหัวลอยนี้ จะไม่ต้องระมัดระวังเรื่องความแตกต่างในอัตราการขยายตัวของตัวเซลล์และของท่อถ่ายเทความร้อน อีกทั้งยังสามารถดึงมัดท่อออกมาจากเซลล์ได้เมื่อจำเป็น เนื่องจากท่อที่ใช้เป็นท่อตรงซึ่งมีส่วนยึดและความยาวเท่ากันหมด เครื่องแบบนี้จึงดีในแง่ของการผลิต การทำความสะอาด และการบำรุงรักษา ด้วยเหตุที่โครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน น้ำหนักของเครื่องและค่าก่อสร้างจึงค่อนข้างสูง แต่ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนดี เพราะสามารถเลือกจำนวนเที่ยวการไหลในเซลล์ และจำนวนเที่ยวการไหลในท่อได้ตามความเหมาะสม ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมน้ำมัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้แสดงได้ในรูปที่ 2.11 [1]

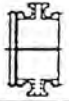


รูปที่ 2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหัวลอย

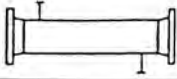
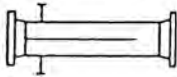
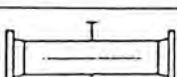
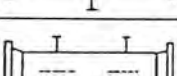
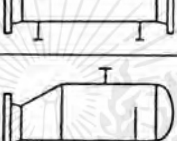
2.3.2 สัญลักษณ์แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

การใช้สัญลักษณ์ง่าย ๆ แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีข้อดีมากมายในการออกแบบ ตลอดจนการจัดการดูแลเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ในกรณีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) ของสหรัฐอเมริกาได้เสนอแนะวิธีแสดงขนาดของเครื่อง โดยการระบุสัดส่วนและรูปแบบทั่วไปของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 2.12 [1]

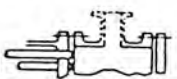
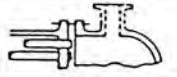
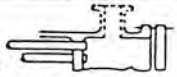
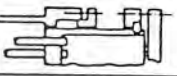
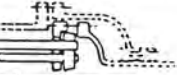
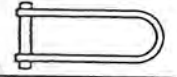
FRONT END STATIONARY HEAD TYPES

A		Channel and Removable Cover
B		Bonnet (Integral Cover)
C		Channel Integral with Tubesheet and Removable Cover
D		Removable Tube Bundle Only
E		Special High Pressure Closure
N		Channel Integral with Tubesheet and Removable Cover Fixed Tubesheet Only
Y		Single pass pipeline type

SHELL TYPES

E		One Pass Shell
F		Two Pass Shell with Longitudinal Baffle
G		Split Flow
H		Double Split Flow
J		Divided Flow
K		Kettle Type Reboiler
X		Cross Flow

REAR END HEAD TYPES

L		Fixed Tubesheet Like 'A' Stationary Head
M		Fixed Tubesheet Like 'B' Stationary Head
N		Fixed Tubesheet Like 'N' Stationary Head
P		Outside Packed Floating Head
S		Floating Head with Backing Device
T		Pull Through Floating Head
U		U-Tube Bundle
W		Packed Floating Tubesheet with Lantern Ring

รูปที่ 2.12 ประเภทของเชลล์ และประเภทของหัวด้านหน้าและด้านหลังของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (ตาม TEMA)

2.3.3 จำนวนเที่ยวการไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ การกำหนดความเร็วของของไหลที่เหมาะสมกับหลักเศรษฐกิจที่สุดเป็นสิ่งสำคัญ โดยการเลือกจำนวนเที่ยวการไหลที่ถูกต้องในตัวเชลล์และในท่อ คำว่าจำนวนเที่ยวการไหล 1 เที่ยว (One Pass or Single Pass) หมายถึงการไหลจากทางเข้าที่ปลายข้างหนึ่งตรงไปยังทางออกที่ปลายอีกข้างหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้ามีการกลับทิศทางการไหลภายในเครื่อง 1 ครั้ง ก็เรียกว่า การไหล 2 เที่ยว (Two Passes) ในกรณีที่จำเป็นต้องใช้จำนวนเที่ยวการไหลมากกว่านี้ มักใช้การไหล 4 เที่ยว 6 เที่ยว 8 เที่ยว ซึ่งเป็นเลขคู่

2.3.3.1 จำนวนเที่ยวการไหลของของไหลในท่อ

จำนวนเที่ยวการไหลของของไหลในท่อ ควบคุมได้โดยการติดตั้งแผ่นแบ่งเที่ยวการไหลภายในแซนเนลและภายในหัวลอย ในกรณีที่มีการไหลในท่อและเซลล์ต่างเป็นแบบเที่ยวเดียว การไหลของของเหลวทั้งสองชนิดจะเป็นแบบสวนทางกัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง

2.3.3.2 จำนวนเที่ยวการไหลของของไหลในเซลล์

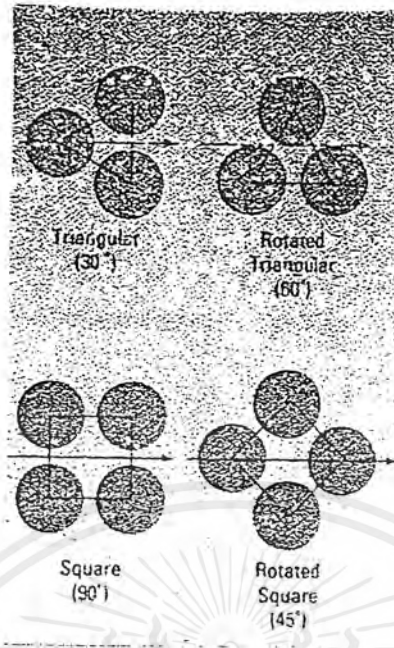
ในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็ก หรือในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องใช้ความเร็วของของไหลภายในเซลล์สูงมากกว่าปกติ ส่วนใหญ่จะเลือกการไหลของของไหลภายในเซลล์แบบเที่ยวเดียว เพื่อให้โครงสร้างของเครื่องเป็นแบบง่าย ๆ จำนวนเที่ยวการไหลภายในเซลล์มักถูกจำกัดไม่ให้เกินกว่า 2 เที่ยวสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละเครื่อง ในกรณีที่ต้องใช้จำนวนเที่ยวการไหลในเซลล์มากกว่านี้ ควรใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 เครื่อง 3 เครื่อง หรือ 4 เครื่องมาต่อกันแบบอนุกรมกัน

2.3.4 นิยามศัพท์และส่วนประกอบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อที่สำคัญ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ซึ่งนิยามดังนี้ [3]

2.3.4.1 รูปแบบโครงร่างของท่อ (tube layout patterns)

รูปแบบโครงร่างของท่อที่ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ มี 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 คือ แบบสามเหลี่ยม ($\text{triangular } 30^\circ$) แบบสามเหลี่ยมหมุน ($\text{rotate triangular } 60^\circ$) แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ($\text{square } 90^\circ$) แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหมุน ($\text{rotate square } 45^\circ$)



รูปที่ 2.13 รูปแบบโครงร่างของท่อ

รูปแบบโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยมหรือแบบสามเหลี่ยมหมุนจะเหมาะกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ที่มีจำนวนท่อมากกว่าแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหมุน ยิ่งไปกว่านั้นแบบสามเหลี่ยมจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงด้วย แต่แบบสามเหลี่ยมมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถทำความสะอาดเซลล์โดยวิธีทางกลได้ ดังนั้นจึงใช้ในงานที่ของไหลในเซลล์เป็นของไหลที่สะอาด แต่ถ้าต้องการใช้ในงานที่ของไหลในเซลล์สกปรก จะต้องทำความสะอาดด้านนอกของท่อโดยวิธีทางเคมี

สำหรับงานที่มีของไหลในเซลล์สกปรก โครงร่างของท่อควรเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่โครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนน้อย ถ้าหากต้องการให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ควรใช้โครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหมุน

2.3.4.2 ระยะระหว่างท่อ (tube pitch)

ระยะระหว่างท่อ คือ ระยะทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างท่อ 2 ท่อที่อยู่ใกล้กัน สำหรับโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยม TEMA ได้กำหนดให้ค่าน้อยที่สุดของระยะระหว่างท่อต้องมีค่าเป็น 1.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

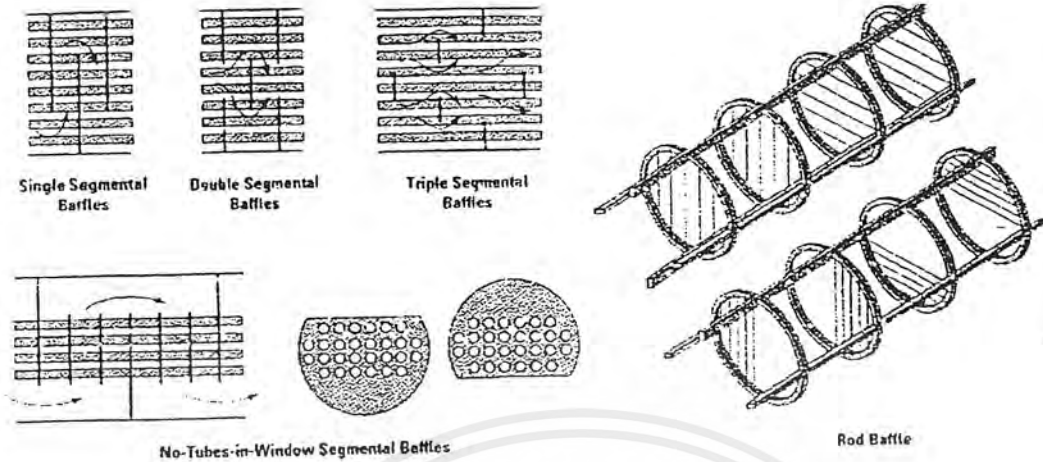
สำหรับโครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะหาค่าน้อยที่สุดของระยะระหว่างท่อได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกจะใช้วิธีเดียวกับแบบโครงร่างแบบสามเหลี่ยม ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ ระยะระหว่างท่อเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก + 6 มิลลิเมตร โดยจะเลือกใช้ค่าที่มากกว่า

โดยทั่วไปในการออกแบบจะใช้ค่าที่น้อยที่สุดตามที่คำนวณได้ เพื่อให้ขนาดของเซลล์มีขนาดเล็กที่สุด แต่ในบางกรณีก็จำเป็นต้องใช้ค่าระยะระหว่างท่อมากกว่าค่าที่คำนวณได้ เช่นในกรณีที่ต้องการลดความดันลดในเซลล์

2.3.4.3 การเว้นช่องระหว่างบัพเฟิล (baffle spacing)

ช่องระหว่างบัพเฟิล คือ ระยะทางระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของบัพเฟิลที่อยู่ใกล้กัน 2 อัน ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ หน้าที่ของบัพเฟิลคือ ช่วยพยุงท่อและป้องกันไม่ให้เกิดการสั่น และช่วยกำหนดทิศทางการไหลของของไหลในเซลล์

TEMA ได้กำหนดค่าน้อยที่สุดของการเว้นช่องระหว่างบัพเฟิลเท่ากับ $1/5$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์หรือ 2 นิ้ว โดยจะใช้ค่าที่มากกว่าในการออกแบบ หากการเว้นช่องระหว่างบัพเฟิลมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ของไหลในเซลล์ไหลได้ยาก และทำความสะอาดด้านนอกของท่อได้ยาก ส่วนค่าที่มากที่สุดสำหรับการเว้นช่องระหว่างบัพเฟิล มีค่าเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์ หากการเว้นช่องระหว่างบัพเฟิลมีค่ามากเกินไปจะไม่เกิดการไหลแบบตั้งฉาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ไม่ดี และนอกจากนั้นยังทำให้เกิดการสั่นอีกด้วย



รูปที่ 2.14 ชนิดของบัพเฟิล

2.3.4.4 การเว้นช่องระหว่างบัพเฟิลที่เหมาะสม (optimum baffle spacing)

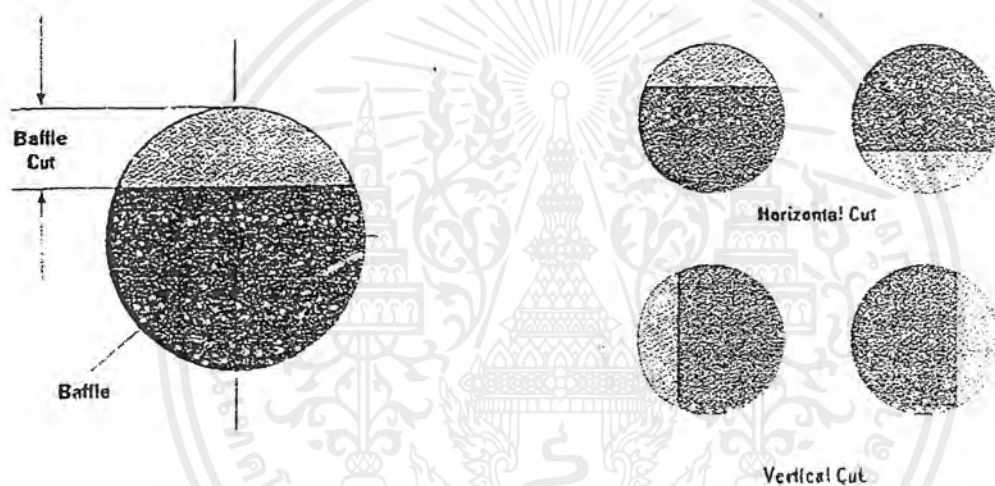
สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในเซลล์ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะแปรผันกับความเร็วยกกำลัง $0.6 - 0.7$ ส่วนความดันลดจะแปรผันกับความเร็วยกกำลัง $1.7 - 2.0$ ส่วนการไหลแบบราบเรียบ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะแปรผันกับความเร็วยกกำลัง 0.33 ส่วนความดันลดจะแปรผันกับความเร็วยกกำลัง 1.0 จะเห็นว่าเมื่อทำการลดช่องว่างระหว่างบัพเฟิล จะทำให้ความดันลดที่เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นจึงต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเว้นช่องว่างระหว่างบัพเฟิลกับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์ ที่จะทำให้ความดันลดที่เพิ่มขึ้นเปลี่ยนมาเป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $0.3 - 0.6$

2.3.4.5 บัพเฟิลคัท (baffle cut)

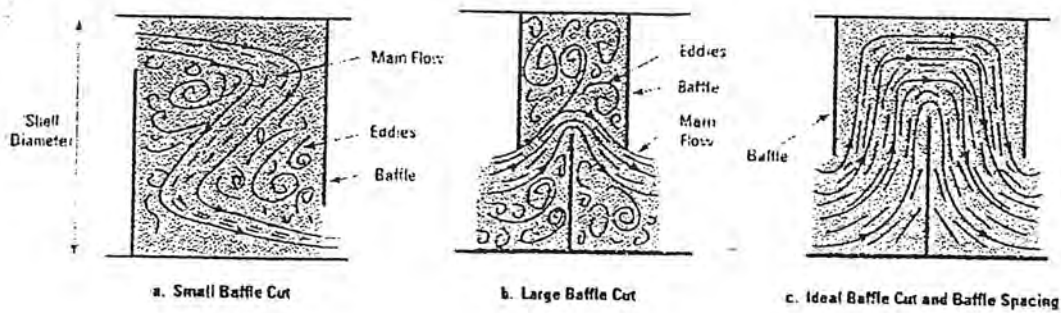
บัพเฟิลคัท คือ ส่วนของบัพเฟิลที่ถูกตัดออกเพื่อให้ของไหลในเซลล์ไหลผ่านได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยจะแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์ ซึ่งค่าบัพเฟิลคัทจะอยู่ในช่วง $15 - 45\%$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเซลล์

หากค่าบัพเฟิลด์มีค่ามากหรือน้อยเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเซลล์เบี่ยงเบนไปจากอุดมคติมาก ซึ่งค่าบัพเฟิลด์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 20 - 35% ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเซลล์ หากค่าบัพเฟิลด์ต่ำกว่า 20% จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความดันลดที่เพิ่มขึ้นแล้ว ความดันลดจะมีการเพิ่มขึ้นมากกว่า และถ้าหากบัพเฟิลด์มากกว่า 35% แล้วจะทำให้ความดันลดลดลง แต่เมื่อเทียบกับการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแล้ว จะมีการลดลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากกว่า



รูปที่ 2.15 บัพเฟิลด์และรูปแบบของบัพเฟิลด์

สำหรับของไหลวิฤภาคเดียวในเซลล์ ควรใช้บัพเฟิลด์แบบแนวขวาง (horizontal cut) เพราะจะเกิดการสะสมของตะกอนน้อยที่สุด ส่วนในกรณีที่เป็นการไหลผ่านเซลล์สองเที่ยว ควรจะใช้บัพเฟิลด์แบบแนวตั้ง (vertical cut) จะเหมาะสมกว่า เพราะจะสะดวกในการสร้าง



รูปที่ 2.16 ผลจากขนาดของบัพเฟิลคัท

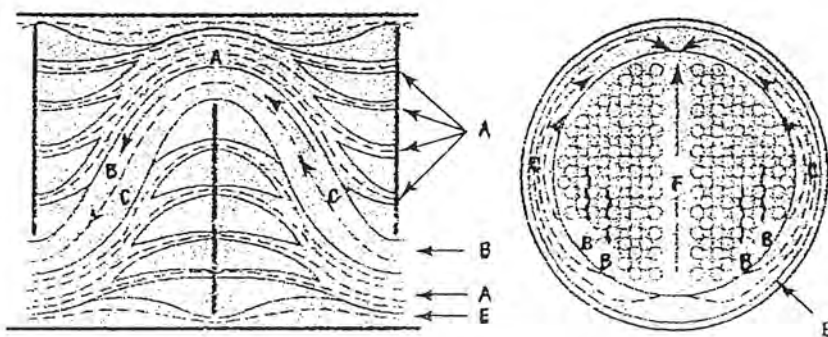
2.3.4.6 การเท่ากันของความเร็วในการไหลแบบตั้งฉากและการไหลผ่านช่องเปิด (equalize cross flow and window velocities)

การไหลแบบตั้งฉาก (cross flow) คือ การไหลขวางกับทิศทางของท่อส่วนการไหลผ่านช่องเปิด (window flow) คือ การไหลผ่านบัพเฟิลคัท

ซึ่งความเร็วของการไหลแบบตั้งฉากและการไหลผ่านช่องเปิด จะต้องมีค่าเท่ากันหรือมีค่าแตกต่างกันได้ไม่เกิน 20% ถ้าหากมีค่าแตกต่างกันเกิน 20% การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นได้ไม่ดี

2.3.4.7 การวิเคราะห์กระแสด้านเชลล์ (shellside stream analysis)

จากรูปที่ 2.17 ในเชลล์จะประกอบด้วยกระแสต่าง ๆ คือ กระแสหลักที่ไหลตั้งฉาก 1 กระแส (main cross-flow stream) และกระแสที่ไหลผ่าน 4 กระแส (leakage หรือ bypass stream) สามารถเรียกกระแสต่าง ๆ เหล่านี้ดังนี้ กระแสที่ไหลตั้งฉากผ่านท่อ (main cross-flow stream, B) กระแสที่ไหลระหว่างท่อและบัพเฟิล (tube-to-baffle hole leakage stream, A) กระแสที่ไหลผ่านมัดท่อ (bundle bypass stream, C) กระแสที่ไหลผ่านช่องแบ่งกลุ่มท่อ (pass-partition bypass stream, F) กระแสที่ไหลระหว่างบัพเฟิลและเชลล์ (baffle-to-shell leakage stream, E)



รูปที่ 2.17 การกระจายการไหลในเซลล์

โดยที่กระแส B จะมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างเซลล์กับท่อมากที่สุด ส่วนกระแส A, C, F จะเกิดการถ่ายเทความร้อนเพียงเล็กน้อย สำหรับกระแส E ซึ่งจะไม่ผ่านท่อ จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับท่อเลย

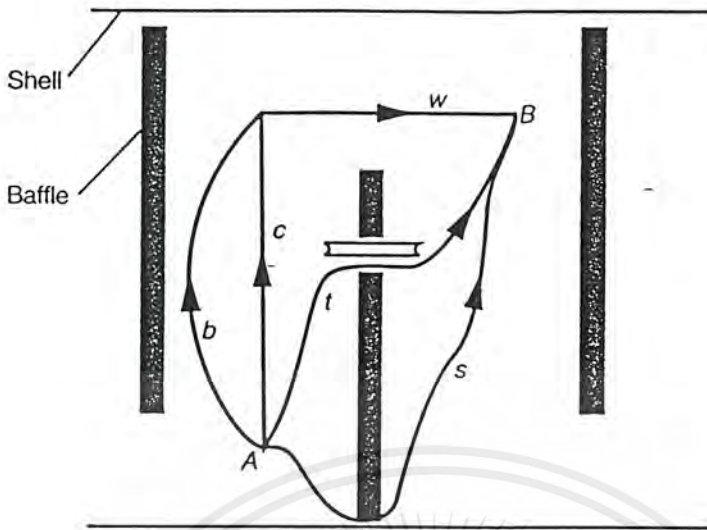
2.3.5 การคำนวณ

การคำนวณเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ประกอบด้วย [1]

2.3.5.1 คำนวณความดันลด (ΔP) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (α)

โดยการวิเคราะห์การไหลของกระแส (flow stream analysis)

พิจารณากระแสตามรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กระแสการไหลในเชลล์

โดย กระแส t คือ กระแสที่ไหลระหว่างท่อและบัพเฟิล (leakage flows occur between the tubes and the baffle)

กระแส s คือ กระแสที่ไหลระหว่างบัพเฟิลและเชลล์ (leakage flows occur between the baffle and the shell)

กระแส c คือ กระแสที่ไหลตั้งฉากผ่านท่อ (flow passes over the tubes in cross flow)

กระแส b คือ กระแสที่ไหลผ่านทางเลี้ยวมัดท่อ (part bypass the bundle)

กระแส w คือ กระแสที่ไหลผ่านบัพเฟิลคัท (flow stream that passes through the window zone)

สมการที่สำคัญในการคำนวณ มีดังนี้

1) พื้นที่ระหว่างเชลล์และบัพเฟิล (S_s) จาก

$$S_s = \pi(D_s - \delta_{sb})\delta_{sb} \quad (2.29)$$

เมื่อ D_s = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเชลล์

δ_{sb} = ความแตกต่างระหว่างระยะรัศมีของบัพเฟิลและเชลล์

2) สัมประสิทธิ์ความต้านทานการรั่วซึมของเซลล์สับฟิเฟิล (n_s) จาก

$$n_s = \frac{0.036(t_b/\delta_{sb}) + 2.3(t_b/\delta_{sb})^{-0.177}}{2\rho S_s^2} \quad (2.30)$$

เมื่อ

t_b = ความหนาของบัพเฟิล

3) พื้นที่ระหว่างท่อและบัพเฟิล (S_t) จาก

$$S_t = N_T \pi (D_o + \delta_b) \delta_b \quad (2.31)$$

เมื่อ

N_T = จำนวนท่อ

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

δ_b = ความแตกต่างระหว่างระยะรัศมีของท่อและบัพเฟิล

4) สัมประสิทธิ์ความต้านทานการรั่วซึมของท่อสับฟิเฟิล (n_t) จาก

$$n_t = \frac{0.036(t_b/\delta_b) + 2.3(t_b/\delta_b)^{-0.177}}{2\rho S_t^2} \quad (2.32)$$

5) พื้นที่การไหลใกล้แนวกึ่งกลาง (S_m)

สำหรับระยะระหว่างท่อเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square pitch)

$$S_m = L_B \left[D_s - D_{OTL} + \frac{D_{OTL} - D_o}{P_T} (P_T - D_o) \right] \quad (2.33)$$

สำหรับระยะระหว่างท่อเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหมุน (rotated square

pitch)

$$S_m = L_B \left[D_s - D_{OTL} + \frac{D_{OTL} - D_o}{0.707 P_T} (P_T - D_o) \right] \quad (2.34)$$

สำหรับระยะระหว่างท่อเป็นสามเหลี่ยม (triangular pitch)

$$S_m = L_B \left[D_s - D_{OTL} + \frac{D_{OTL} - D_o}{P_T} (P_T - D_o) \right] \quad (2.35)$$

สำหรับระยะระหว่างท่อเป็นสามเหลี่ยมหมุน (rotated triangular pitch)

$$S_m = L_B \left[D_s - D_{OTL} + \frac{D_{OTL} - D_o}{0.5 P_T} (P_T - D_o) \right] \quad (2.36)$$

เมื่อ L_B = ระยะห่างระหว่างบัฟเฟิล
 D_{OTL} = เส้นผ่านศูนย์กลางของมัดท่อ

$$\text{โดย } D_{OTL} = D_s - \Delta_{by}$$

เมื่อ Δ_{by} = ความแตกต่างระหว่างระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของมัดท่อและเซลล์

6) พื้นที่การไหลผ่านบัฟเฟิลคัท (S_w) จาก

$$S_w = \frac{D_s^2}{4} \left[\cos^{-1} \left[\frac{D_s - 2L_c}{D_s} \right] - \left[\frac{D_s - 2L_c}{D_s} \right] \sqrt{1 - \left[\frac{D_s - 2L_c}{D_s} \right]^2} \right] - \frac{N_T}{8} (1 - F_c) \pi D_o^2 \quad (2.37)$$

เมื่อ L_c = ระยะบัฟเฟิลคัท = $\frac{B_c D_s}{100}$

ซึ่ง B_c = อัตราร้อยละบัฟเฟิลคัท

F_c = สัดส่วนของท่อในการไหลตั้งฉาก

$$\text{โดย } F_c = \frac{1}{\pi} \left[\pi + \frac{2(D_s - 2L_c)}{D_{OTL}} \sin \left(\cos^{-1} \frac{D_s - 2L_c}{D_{OTL}} \right) - 2 \cos^{-1} \frac{D_s - 2L_c}{D_{OTL}} \right] \quad (2.38)$$

7) สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลในช่องเปิด (n_w) จาก

$$n_w = \frac{1.9 \exp(0.6856 S_w / S_m)}{2 \rho S_w^2} \quad (2.39)$$

8) พื้นที่การไหลของทางเสียง (S_b) จาก

$$S_b = (2\delta_{by} + \delta_{pp}) L_B \quad (2.40)$$

เมื่อ δ_{by} = ความแตกต่างระหว่างระยะรัศมีของมัดท่อและเซลล์ ($= 0.5\Delta_{by}$)

δ_{pp} = ระยะของช่องว่างในมัดท่อของสายการไหล

L_B = ระยะห่างระหว่างบัพเฟิล 2 อันที่อยู่ใกล้กัน

9) สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลในทางเลี้ยว (n_b) จาก

$$n_b = \frac{a(D_s - 2L_c)/P_{TP} + N_{ss}}{2\rho S_b^2} \quad (2.41)$$

เมื่อ a = ค่าคงที่

โดยที่ $a = 0.266$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส
 $= 0.133$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยม สามเหลี่ยมมุม และ
 สี่เหลี่ยมจัตุรัสมุม

P_{TP} = ช่องว่างระหว่างแถวของท่อในทิศทางการไหล

โดยที่ $P_{TP} = P_T$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส
 $= 0.866P_T$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยม
 $= 0.707P_T$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมุม
 $= 0.5P_T$ สำหรับโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยมมุม

N_{ss} = จำนวนของซีลิ่ง สตรีป (sealing strips)

จาก
$$N_c = \frac{D_s(1 - 2L_c/D_s)}{P_{TP}} \quad (2.42)$$

จะได้ว่า
$$n_b = \frac{aN_c + N_{ss}}{2\rho S_b^2} \quad (2.43)$$

เมื่อ N_c = จำนวนของแถวที่มีการไหลตั้งฉาก

10) สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลแบบตั้งฉาก (n_c) จาก

$$n_c = \frac{N_c K_f}{2\rho S_m^2} \quad (2.44)$$

เมื่อ

 K_f = ตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันกับเรโนลด์นัมเบอร์

สำหรับโครงร่างของท่อแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

กรณีที่ $3 < Re < 2 \times 10^3$

$$K_f = 0.274 + \frac{0.207 \times 10^3}{Re} + \frac{0.102 \times 10^3}{Re^2} - \frac{0.286 \times 10^3}{Re^3} \quad (2.45)$$

กรณีที่ $2 \times 10^3 < Re < 2 \times 10^6$

$$K_f = 0.267 + \frac{0.249 \times 10^4}{Re} - \frac{0.927 \times 10^7}{Re^2} + \frac{0.10 \times 10^{11}}{Re^3} \quad (2.46)$$

สำหรับโครงร่างของท่อแบบสามเหลี่ยม

กรณีที่ $3 < Re < 10^3$

$$K_f = 0.795 + \frac{0.247 \times 10^3}{Re} + \frac{0.335 \times 10^4}{Re^2} - \frac{0.155 \times 10^4}{Re^3} + \frac{0.241 \times 10^4}{Re^4} \quad (2.47)$$

กรณีที่ $10^3 < Re < 10^6$

$$K_f = 0.245 + \frac{0.339 \times 10^4}{Re} - \frac{0.984 \times 10^7}{Re^2} + \frac{0.133 \times 10^{11}}{Re^3} - \frac{0.599 \times 10^{13}}{Re^4} \quad (2.48)$$

11) สัมประสิทธิ์ที่ใช้ประกอบ (n_a , n_{cb} , n_p) จาก

$$n_{cb} = \left(N_c^{-1/2} + n_b^{-1/2} \right)^{-2} \quad (2.49)$$

$$n_a = n_w + n_{cb} \quad (2.50)$$

$$n_p = \left(n_a^{-1/2} + n_s^{-1/2} + n_t^{-1/2} \right)^{-2} \quad (2.51)$$

12) สัดส่วนการไหลแบบตั้งฉากต่อการไหลในมัดท่อ (F_{cr}) จาก

$$F_{cr} = \frac{M_c}{M_T} = \left(\frac{n_p}{n_a} \right)^{1/2} \left[1 + \left(\frac{n_c}{n_b} \right)^{1/2} \right]^{-1} \quad (2.52)$$

13) เรโนลด์นัมเบอร์ (Re) จาก

$$Re = \frac{D_o M_T F_{cr}}{\eta S_m} \quad (2.53)$$

เมื่อ

η = ความหนืดของของไหล

14) สัดส่วนการไหลสำหรับทางเลี้ยวมัดท่อ (F_b) จาก

$$F_b = \left(\frac{n_p}{n_a} \right)^{1/2} \left[1 + \left(\frac{n_b}{n_c} \right)^{1/2} \right]^{-1} \quad (2.54)$$

15) สัดส่วนการไหลสำหรับระยะของเซลล์ไปยังบัพเฟิล (F_s) จาก

$$F_s = \left(\frac{n_p}{n_s} \right)^{1/2} \quad (2.55)$$

16) สัดส่วนการไหลสำหรับระยะของท่อไปยังบัพเฟิล (F_t) จาก

$$F_t = \left(\frac{n_p}{n_t} \right)^{1/2} \quad (2.56)$$

17) ความดันลดทั้งหมดในเซลล์ (ΔP_s) จาก

$$\Delta P_s = (N + 1) \Delta P \quad (2.57)$$

เมื่อ

N = จำนวนบัพเฟิล

ΔP = ความดันลดต่อระยะของบัพเฟิล

โดย $\Delta P = n_p M_T^2$ (2.58)

18) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์ (α_s) จาก

$$\alpha_s = \frac{\lambda}{D_o} (0.211 \text{Re}^{0.651} \text{Pr}^{0.34}) \quad (2.59)$$

เมื่อ λ = การนำความร้อน

Pr = แพลนทน์ัมเบอร์

โดย $\text{Pr} = \frac{c_p \eta}{\lambda}$ (2.60)

19) ฟลักซ์ของมวลในท่อ (m_t) จาก

$$m_t = \frac{M_t n}{N_t (\pi D_i^2 / 4)} \quad (2.61)$$

20) เรโนลด์นัมเบอร์ด้านท่อ (Re_t) จาก

$$\text{Re}_t = \frac{m_t D_i}{\eta_t} \quad (2.62)$$

เมื่อ η_t = ความหนืดของของไหลในท่อ

21) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ (α_t) จาก

$$\alpha_t = 0.0225 \frac{\lambda}{D_i} \text{Re}^{0.795} \text{Pr}^{0.495} \exp[-0.0225(\ln \text{Pr})^2] \quad (2.63)$$

22) ความดันลดในท่อ (ΔP_t) จาก

$$\Delta P_t = \frac{4nf_0 L_s m_t^2}{2D_i \rho} \quad (2.64)$$

2.3.5.2 คำนวณพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (A) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q)

โดยวิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (Log Mean Temperature Difference, LMTD)

แต่ในที่นี้ วิธีนี้จะมีข้อจำกัดเนื่องจากค่าแฟคเตอร์แก้ไข (F) ที่หาได้ในกรณีใช้สมการคำนวณ ใช้ได้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีจำนวนเที่ยวการไหลในเซลล์ 1 เที่ยวเท่านั้น แต่จะไม่ใช่ปัญหาในกรณีใช้กราฟหาค่า F

สมการที่สำคัญในการคำนวณมีดังนี้

1) แฟคเตอร์แก้ไข (F) จาก

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln(1 - P) / (1 - RP)}{(R - 1) \ln \frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}} \quad (2.65)$$

โดย ค่า P เป็นไปตามสมการที่ (2.7) และค่า R เป็นไปตามสมการที่ (2.6)

และ $\Delta T_M = F \Delta T_{LM}$ จะทำให้ได้ค่า ΔT_M ตามต้องการ

2) พื้นที่ทั้งหมดภายนอกท่อ (A) จาก

$$A = \pi D_o L_s N_T \quad (2.66)$$

เมื่อ L_s = ความยาวของเซลล์

3) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) จาก

$$U = \frac{Q}{A \Delta T_M} \quad (2.67)$$

2.3.5.3 คำนวณพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน (A) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) โดยวิธีเอฟเฟกทีฟเนส-เอ็นทียู (Effectiveness-NTU) [4]

ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (effectiveness, ε) ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของความร้อนที่ถูกถ่ายเทจริงโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต่อความร้อนที่ควรจะถูกถ่ายเทเป็นไปได้สูงสุด

$$\text{หรือ effectiveness} = \varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (2.68)$$

โดยที่การถ่ายเทความร้อนจริง (Q) หาได้จากการสมดุลพลังงานกระแสของไหลร้อนหรือกระแสของไหลเย็นก็ได้ นั่นคือ $Q = M_c c_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) = M_h c_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out})$ ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ควรจะเป็น ($Q_{\max}$) ซึ่งถูกจำกัดโดยกระแสของไหลที่มีอัตราความจุความร้อนน้อยที่สุด นั่นคือ

$$Q_{\max} = M_c c_{pc} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad \text{เมื่อ} \quad M_c c_{pc} < M_h c_{ph}$$

$$\text{หรือ} \quad Q_{\max} = M_h c_{ph} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad \text{เมื่อ} \quad M_c c_{pc} > M_h c_{ph}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \varepsilon = (T_{c,out} - T_{c,in}) / (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad \text{ถ้า} \quad M_c c_{pc} < M_h c_{ph} \quad (2.69)$$

$$\text{หรือ} \quad \varepsilon = (T_{h,in} - T_{h,out}) / (T_{h,in} - T_{c,i}) \quad \text{ถ้า} \quad M_c c_{pc} > M_h c_{ph} \quad (2.70)$$

ขนาดความร้อนสัมพัทธ์ของกระแสของไหลทั้งสองเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมาก และเพื่อที่จะทำให้เป็นปริมาณที่น้อยกว่าหนึ่งเสมอ ดังนั้น อัตราความจุ (capacity ratio) นิยามเป็น

$$C_r = (M c_p)_{\min} / (M c_p)_{\max} = C_{\min} / C_{\max} \quad (2.71)$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad Q_{\max} = C_{\min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2.72)$$

ผลคูณ UA แทนความจุการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องอาศัยความแตกต่างอุณหภูมิ ขนาดความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนนี้สามารถทำเป็นรูปไร้มิติได้โดยอิงความจุของการเก็บสะสมของกระแสของไหลอันหนึ่ง เนื่องจากกระแสซึ่งมีอัตราความจุความร้อนน้อยกว่าอีกกระแส จะจำกัดการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จึงใช้ในรูปไร้มิติได้ ดังนั้น จำนวนของหน่วยถ่ายเทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (number of transfer units, NTU) นิยามเป็น

$$NTU = \frac{UA}{(Mc_p)_{\min}} = \frac{UA}{C_{\min}} \quad (2.73)$$

ค่า ε สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของ C_r และ NTU ได้สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใด ๆ ค่า C_r และ NTU ทั้งสองนี้เกี่ยวข้องเพียงเฉพาะอัตราการไหลของของไหล ความจุความร้อน ขนาดของเครื่อง และค่า U เท่านั้น ดังนั้น ε จึงหาได้โดยไม่ต้องรู้อุณหภูมิใด ๆ เนื่องจาก ε เกี่ยวข้องเพียงอุณหภูมิทางออกของของไหลหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น อุณหภูมิอีกอันจึงหาได้เมื่ออุณหภูมิทางเข้าทั้งสองกำหนดให้

กรณีการไหลตามกันในท่อซ้อนกันหรือสองชั้น จะได้ความสัมพันธ์ของ ε และ NTU

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{(1 + C_r)} \quad (2.74)$$

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของ ε สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่

$$NTU = UA/C_{\min} \text{ และ } C_r = C_{\min} / C_{\max}$$

เงื่อนไขการไหล

ความสัมพันธ์

ไหลในท่อซ้อนกันหรือสองชั้น

ไหลตามกัน

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r}$$

ไหลสวนทางกัน

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]} \quad (C_r < 1)$$

$$\varepsilon = \frac{NTU}{1 + NTU} \quad (C_r = 1) \quad (2.76)$$

เซลล์และท่อ

ผ่านเซลล์ครั้งเดียว (ผ่านท่อ 2, 4, ... ครั้ง)

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{1/2} \times \frac{1 + \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{1/2}]}{1 - \exp[-NTU(1 + C_r^2)^{1/2}]} \right\}^{-1} \quad (2.77)$$

ผ่านเซลล์ n ครั้ง (ผ่านท่อ $2n, 4n, \dots$ ครั้ง)

$$\varepsilon = \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \varepsilon_1 C_r}{1 - \varepsilon_1} \right)^n - C_r \right]^{-1} \quad (2.78)$$

ε_1 = effectiveness of each shell pass

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของ ε สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่

$$NTU = UA/C_{\min} \text{ และ } C_r = C_{\min}/C_{\max} \text{ (ต่อ)}$$

เงื่อนไขการไหล

ความสัมพันธ์

ไหลตั้งฉากกัน (ผ่านครั้งเดียว)

ของไหลทั้งสองผสมกัน

$$\varepsilon = \left[\frac{1}{1 - \exp(-NTU)} + \frac{C_r}{1 - \exp(-NTUC_r)} - \frac{1}{NTU} \right]^{-1} \quad (2.79)$$

ของไหลทั้งสองไม่ผสมกัน

$$\varepsilon = 1 - \exp \frac{[\exp(NTUC_r n) - 1]}{C_r n} \quad (2.80)$$

$$\text{โดยที่ } n = NTU^{-0.22}$$

$C_{\max}$ ผสมกัน $C_{\min}$ ไม่ผสมกัน

$$\varepsilon = \left(\frac{1}{C_r} \right) (1 - \exp\{-C_r[1 - \exp(-NTU)]\})$$

(2.81)

$C_{\min}$ ผสมกัน $C_{\max}$ ไม่ผสมกัน

$$\varepsilon = 1 - \exp(-C_r^{-1}\{1 - \exp[-C_r(NTU)]\})$$

(2.82)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดซึ่ง $C_r = 0$

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (2.83)$$

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของ NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่

$$NTU = UA/C_{\min} \text{ และ } C_r = C_{\min}/C_{\max}$$

เงื่อนไขการไหล

ความสัมพันธ์

ไหลในท่อซ้อนกันหรือสองชั้น

ไหลตามกัน

$$NTU = -\frac{\ln[1 - \varepsilon(1 + C_r)]}{1 + C_r}$$

ไหลสวนทางกัน

$$NTU = -\frac{1}{C_r - 1} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1}\right) \quad (C_r < 1)$$

$$NTU = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (C_r = 1) \quad (2.84)$$

เซลล์และท่อ

ผ่านเซลล์ครั้งเดียว (ผ่านท่อ 2, 4, ... ครั้ง)

$$NTU = -(1 + C_r^2)^{-1/2} \ln\left(\frac{E - 1}{E + 1}\right) \quad (2.85)$$

$$E = \frac{2/\varepsilon_1 - (1 + C_r)}{(1 + C_r^2)^{1/2}} \quad (2.86)$$

ผ่านเซลล์ n ครั้ง (ผ่านท่อ $2n, 4n, \dots$ ครั้ง) ใช้สมการที่ (2.85) และ (2.86) โดยที่

$$\varepsilon = \frac{F - 1}{F - C_r}, \quad F = \left(\frac{\varepsilon C_r - 1}{\varepsilon - 1}\right)^{1/n} \quad (2.87)$$

ไหลตั้งฉากกัน (ผ่านครั้งเดียว)

$C_{\max}$ ผสมกัน $C_{\min}$ ไม่ผสมกัน

$$NTU = -\ln\left[1 + \left(\frac{1}{C_r}\right) \ln(1 - \varepsilon C_r)\right] \quad (2.88)$$

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของ NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่

$$NTU = UA/C_{\min} \text{ และ } C_r = C_{\min}/C_{\max} \text{ (ต่อ)}$$

เงื่อนไขการไหล	ความสัมพันธ์
$C_{\min}$ ผสมกัน $C_{\max}$ ไม่ผสมกัน	$NTU = -\left(\frac{1}{C_r}\right) \ln[C_r \ln(1-\varepsilon) + 1] \quad (2.89)$
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดซึ่ง $C_r = 0$	$NTU = -\ln(1-\varepsilon) \quad (2.90)$

2.3.5.4 วิธีการคำนวณปัญหาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

วิธี LMTD และวิธี effectiveness- NTU ต่างให้ผลลัพธ์เหมือนกันไม่ว่าเป็นปัญหาใด ๆ วิธี ε - NTU เป็นวิธีที่ค่อนข้างจะง่ายกว่าในการใช้ทั่วไป อย่างไรก็ตาม ยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของปัญหา การใช้วิธี LMTD นี้จะง่ายถ้ารู้อุณหภูมิทางเข้า-ออกของของไหลร้อนและของไหลเย็น เพราะจะหา ΔT_{LM} ได้ทันที ปัญหาที่ทราบค่าอุณหภูมิเหล่านี้ถูกแยกเป็น “ปัญหาการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน” ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าอุณหภูมิทางเข้าและอัตราการไหลของของไหล รวมทั้งอุณหภูมิทางออกของของไหลร้อนหรือของไหลเย็นอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้น ปัญหาการออกแบบ คือ การเลือกชนิดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม และหาขนาดนั้นคือพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน A เพื่อให้ได้อุณหภูมิทางออกที่ต้องการ ในทั้งนี้ ต้องหาจากการสมดุลพลังงานก่อน เพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องตรงกัน จากนั้นหาค่า ΔT_{LM} จากนิยาม แล้วนำมาแทนค่าในสมการอัตราทำให้ทราบค่า A ได้ วิธี ε - NTU จำเป็นต้องใช้เพื่อหาค่า A โดยคำนวณหา ε และ $C_{\min}/C_{\max}$ ก่อน แล้วใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมหรือสมการก็ได้ หาค่า NTU ซึ่งจะนำไปหาค่า A ต่อไป

ส่วนอีกวิธีหนึ่ง จะใช้เมื่อทราบชนิดและขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จุดประสงค์ก็เพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิทางออกของของไหล สำหรับอัตราการไหลและอุณหภูมิทางเข้าของของไหลที่กำหนดให้ ถึงแม้ว่าวิธี LMTD อาจใช้ได้สำหรับการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น แต่การคำนวณค่อนข้างยุ่งยาก จำเป็นต้องใช้แบบการย่ำ (iteration) วิธีการหาคำตอบเช่นนี้ จะไม่จำเป็นถ้าใช้วิธี ε -NTU เป็นผลให้สะดวกสบายกว่ามากเมื่อใช้วิธีนี้

2.3.5.5 วิธีการและขั้นตอนการคำนวณหาค่าความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์

- คำนวณ S_f จากสมการที่ 2.29 แทนค่าในสมการที่ 2.30 เพื่อหาค่า n_f
- คำนวณ S_i จากสมการที่ 2.31 แทนค่าในสมการที่ 2.32 เพื่อหาค่า n_i
- คำนวณ S_m จากสมการที่ 2.33 - 2.36 และ S_w จากสมการที่ 2.37 แทนค่าในสมการที่ 2.39 เพื่อหาค่า n_w
- คำนวณ S_b จากสมการที่ 2.40 แทนค่าในสมการที่ 2.41 หรือ 2.42 เพื่อหา n_b
- คำนวณ Re จากสมการที่ 2.53 โดยแทนค่า F_{cr} เริ่มต้นเท่ากับ 0.5 เพื่อเลือกค่า K_f จากสมการ 2.45 - 2.48
- หาค่า K_f จากสมการที่ 2.45 - 2.48 แทนค่าในสมการที่ 2.44 เพื่อหา n_c
- หาค่า n_{cb} , n_s , และ n_p จากสมการที่ 2.49 - 2.51 ตามลำดับ แทนค่าในสมการที่ 2.52 เพื่อหาค่า F_{cr} ใหม่
- ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นที่ 5 - 7 จนได้ค่า F_{cr} ที่เหมาะสม
- หา F_b , F_s , และ F_t จากสมการที่ 2.54 - 2.56 ตามลำดับ
- คำนวณค่าความดันลดในเซลล์ จากสมการที่ 2.57
- คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์ จากสมการที่ 2.59

2.3.5.6 วิธีการและขั้นตอนการคำนวณหาค่าความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ

- คำนวณค่าฟลักซ์ของมวลในท่อ จากสมการที่ 2.61 แทนค่าในสมการที่ 2.62 เพื่อหาค่า Re_i
- คำนวณค่า Pr จากสมการที่ 2.60
- หาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ จากสมการที่ 2.63
- หาค่าความดันลดในท่อ จากสมการที่ 2.64

2.3.5.7 วิธีการและขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมโดยวิธี LMTD

- คำนวณ ΔT_{LM} จากสมการที่ 2.4
- คำนวณค่า R และ P จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 แทนค่าในสมการที่ 2.65 เพื่อหาค่า F
- หาค่า ΔT_M จาก $\Delta T_M = F\Delta T_{LM}$
- เช็ควัดอุณหภูมิความร้อนและหา Q จากสมการที่ 2.1
- คำนวณค่า A จากสมการที่ 2.66 แทนค่าในสมการที่ 2.67 เพื่อหาค่า U

2.3.5.8 การคำนวณออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยวิธี effectiveness-NTU

ปัญหาในการคำนวณเกี่ยวกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ การหาคุณสมบัติของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเกี่ยวกับการคำนวณปริมาณที่สำคัญ ๆ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่แล้ว เช่น อัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิของของไหล ประเภทที่สองคือ การหาขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเกี่ยวกับการหาพื้นที่ของการถ่ายเทความร้อน เมื่อกำหนดค่าของอัตราการถ่ายเทความร้อนมาให้ [6]

1) การหาคุนสมบัติของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีอยู่แล้ว เมื่อรู้พื้นที่การถ่ายเทความร้อน ค่าของอุณหภูมิของของไหลตอนเข้า และอัตราการไหล ก็จะหาค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้จากคุณสมบัติของของไหล จากนั้นต้องคำนวณหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิของของไหลตอนออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การคำนวณจะเป็นขั้นตอนดังนี้

- หาค่า $C_r = \frac{(Mc_p)_{\min}}{(Mc_p)_{\max}}$ และ $NTU = \frac{UA}{(Mc_p)_{\min}}$ จากข้อมูลที่รู้แล้ว

- จากค่า C_r และ NTU จะสามารถหาค่าของ ε ได้

- จากค่าของ ε ค่าของอัตราการถ่ายเทความร้อนจะหาได้จาก

$$\varepsilon = \frac{\text{(ค่าการถ่ายเทความร้อน)}}{\text{(ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด)}}$$

- คำนวณค่าของอุณหภูมิของของไหลที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากสมการต่อไปนี้

$$T_{h,out} = T_{h,in} - Q/M_h C_{ph} \quad (2.91)$$

$$T_{c,out} = T_{c,in} + Q/M_c c_{pc} \quad (2.92)$$

2) การหาขนาดของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อน

สำหรับปัญหาประเภทนี้ ค่าที่รู้คืออัตราการไหล อุณหภูมิที่เข้า และออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลักษณะการไหลของของไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อน จะต้องคำนวณหาค่าพื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อน (A) ขั้นตอนในการคำนวณมีดังต่อไปนี้คือ

- จากค่าอุณหภูมิของของไหลที่เข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน คำนวณค่าของ ε ได้จากสมการ

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{h,out}}{T_{h,in} - T_{c,in}} \quad \text{หรือ}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{c,out} - T_{c,in}}{T_{h,in} - T_{c,in}}$$

- คำนวณค่าของ C_r จาก

$$C_r = \frac{(Mc_p)_{\min}}{(Mc_p)_{\max}}$$

- จากค่าของ ε และ C_r หาค่าของ NTU จากสมการ
- ค่าของ A จะหาได้จาก

$$NTU = \frac{UA}{(Mc_p)_{\min}}$$

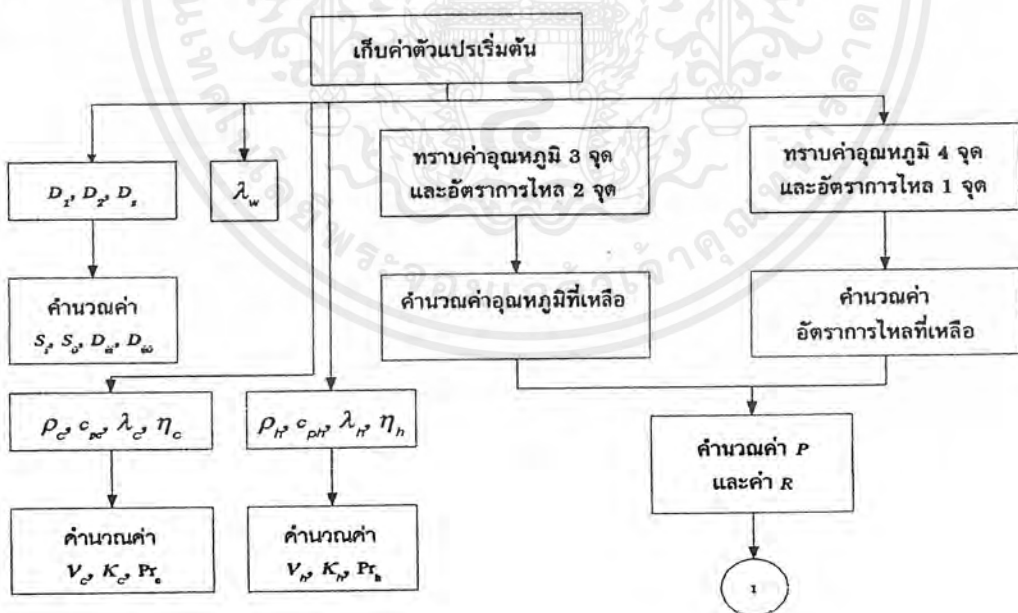
บทที่ 3

แผนภูมิและขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

ขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าตัวแปรที่ต้องการ สามารถเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังนี้

3.1 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

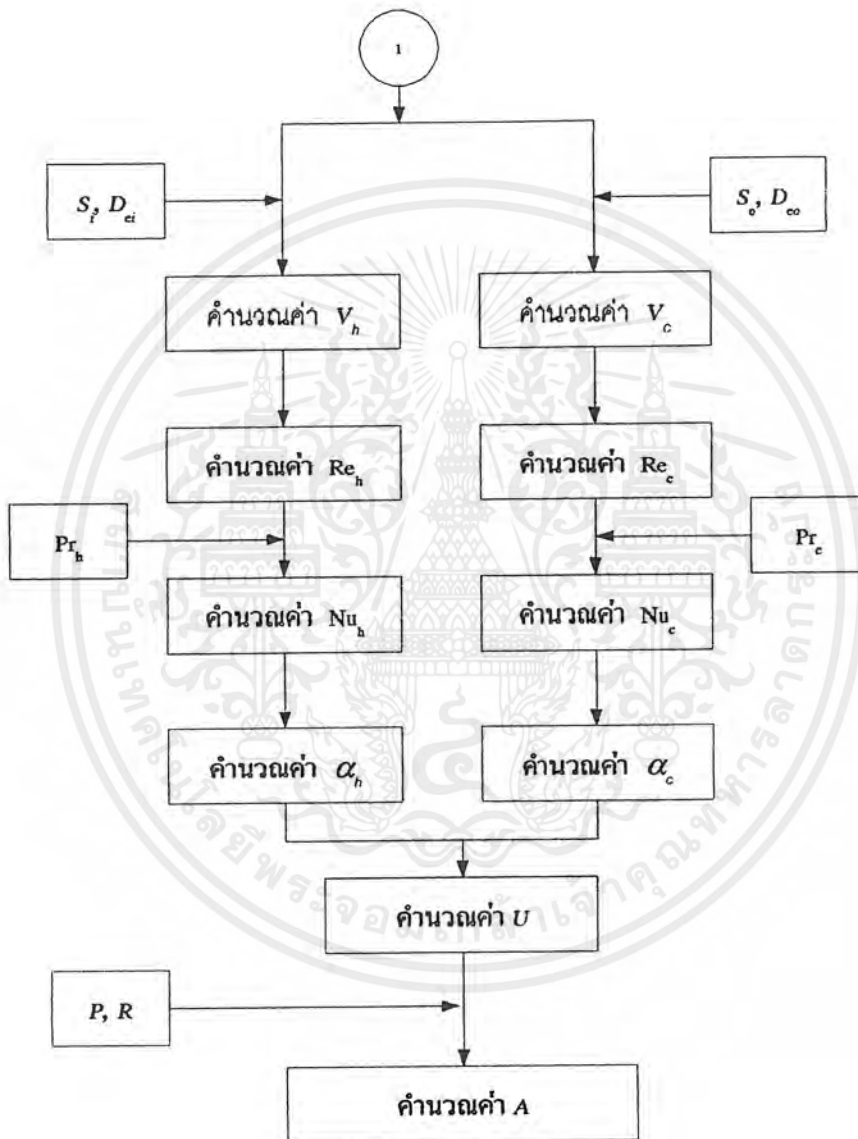
3.1.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล และการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย



รูปที่ 3.1 แผนภูมิการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย

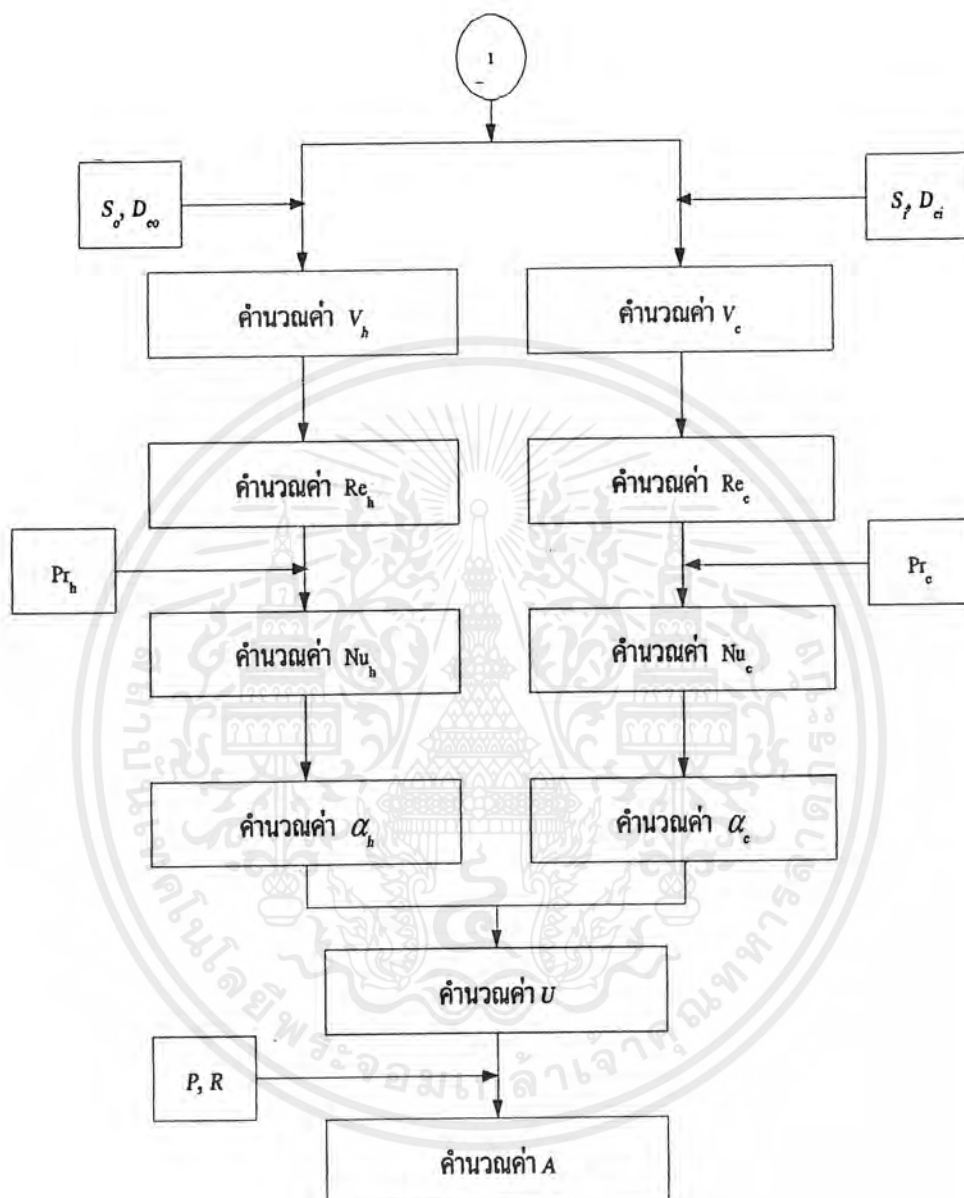
3.1.2 ขั้นตอนการคำนวณค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย

1) กรณีที่ 1 ของไหลร้อนไหลในท่อด้านใน



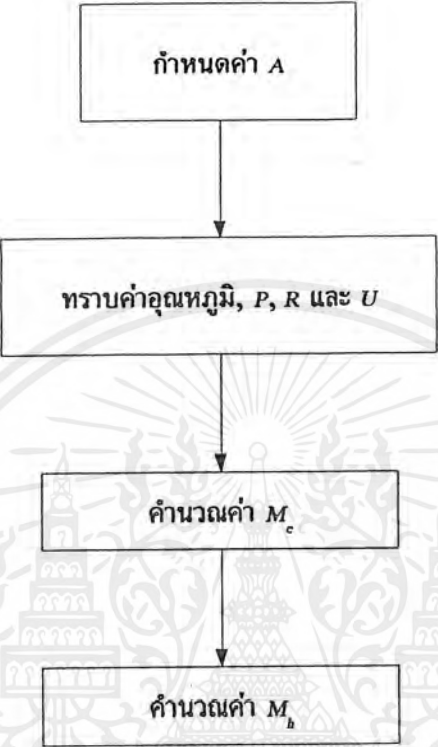
รูปที่ 3.2 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลในท่อ ด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย

2) กรณีที่ 2 ของไหลเย็นไหลในท่อด้านใน



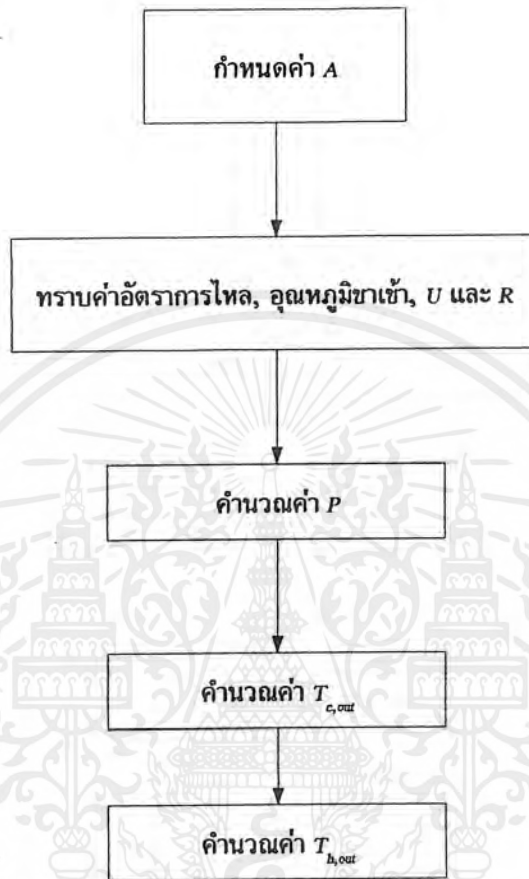
รูปที่ 3.3 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลในท่อด้านในของ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 1 หน่วย

3.1.3 ขั้นตอนการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิ 4 จุด



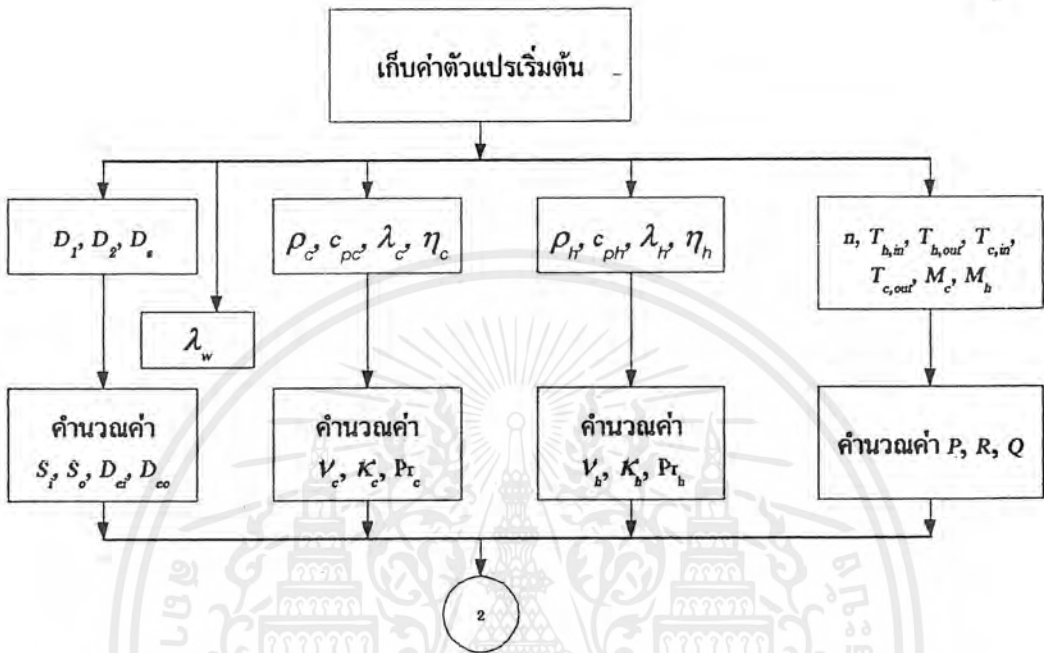
รูปที่ 3.4 แผนภูมิการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิ 4 จุดของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

3.1.4 ขั้นตอนการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหล



รูปที่ 3.5 แผนภูมิการคำนวณสมรรถนะ ในกรณีทราบอุณหภูมิขาเข้าและอัตราการไหล
ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

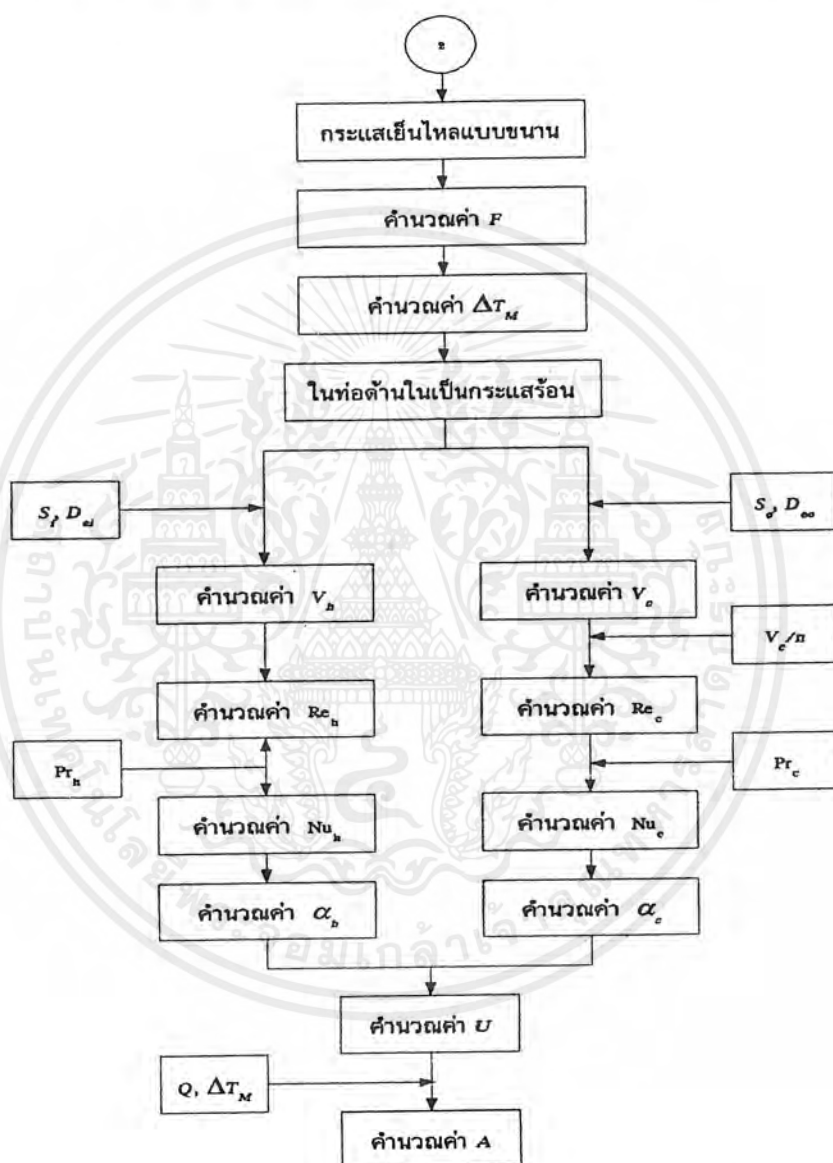
3.1.5 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลและการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย



รูปที่ 3.6 แผนภูมิการคำนวณเริ่มต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

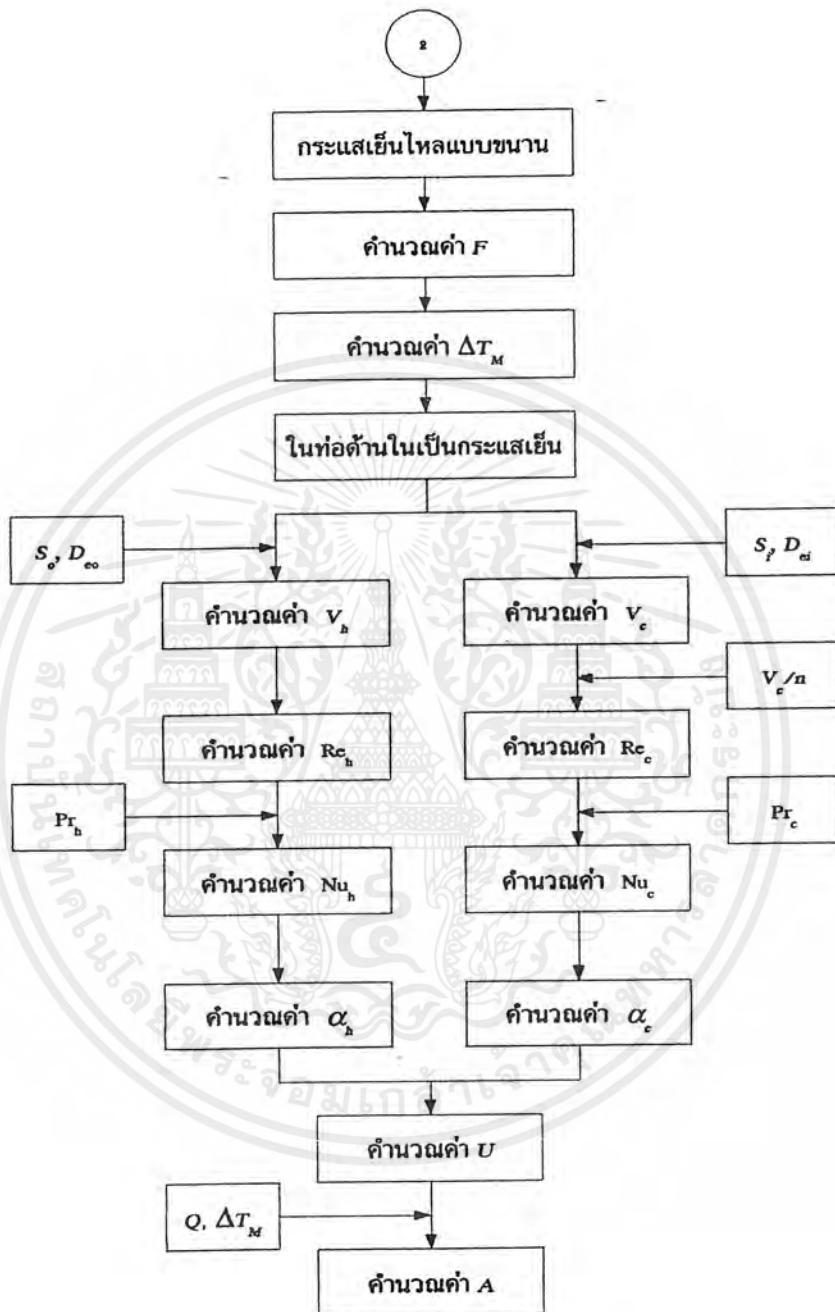
3.1.6 ขั้นตอนการคำนวณค่าพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

1) กรณีที่ 1 ของไหลเย็นไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลในท่อด้านใน



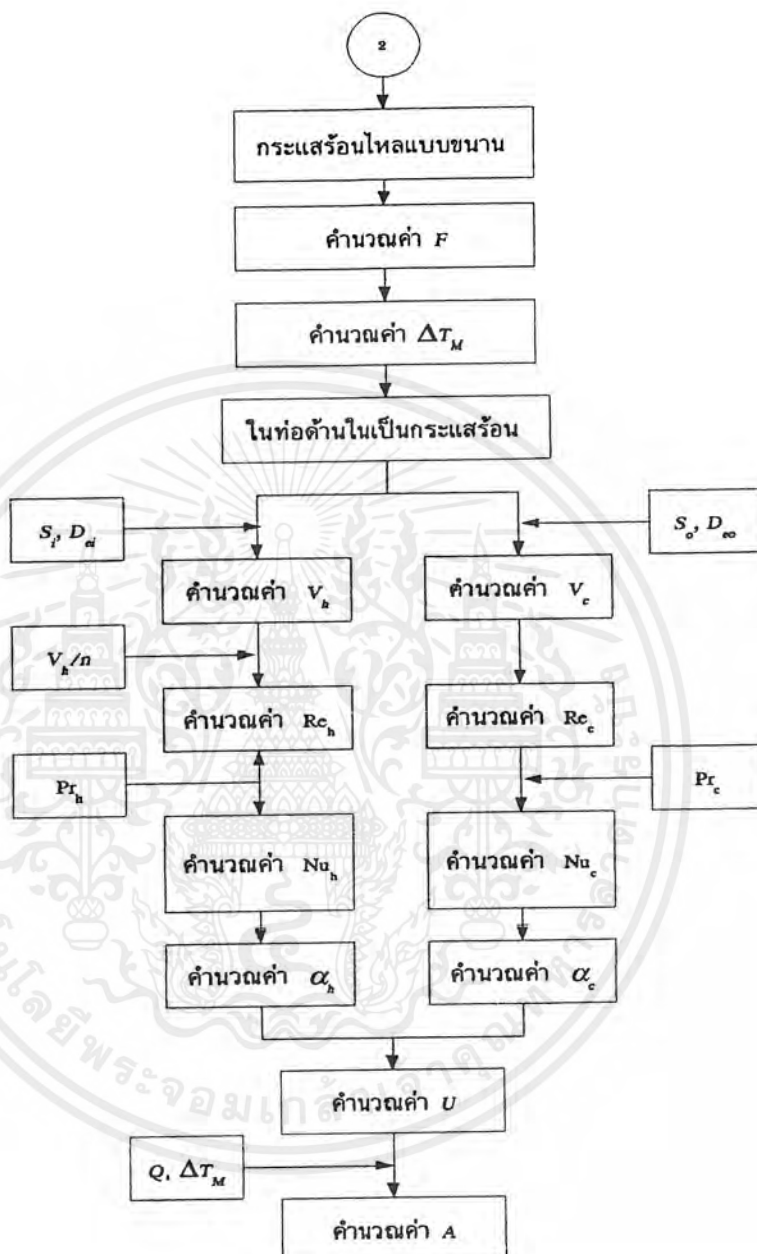
รูปที่ 3.7 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

2) กรณีที่ 2 ของไหลเย็นไหลแบบขนานและของไหลเย็นไหลในท่อตันใน



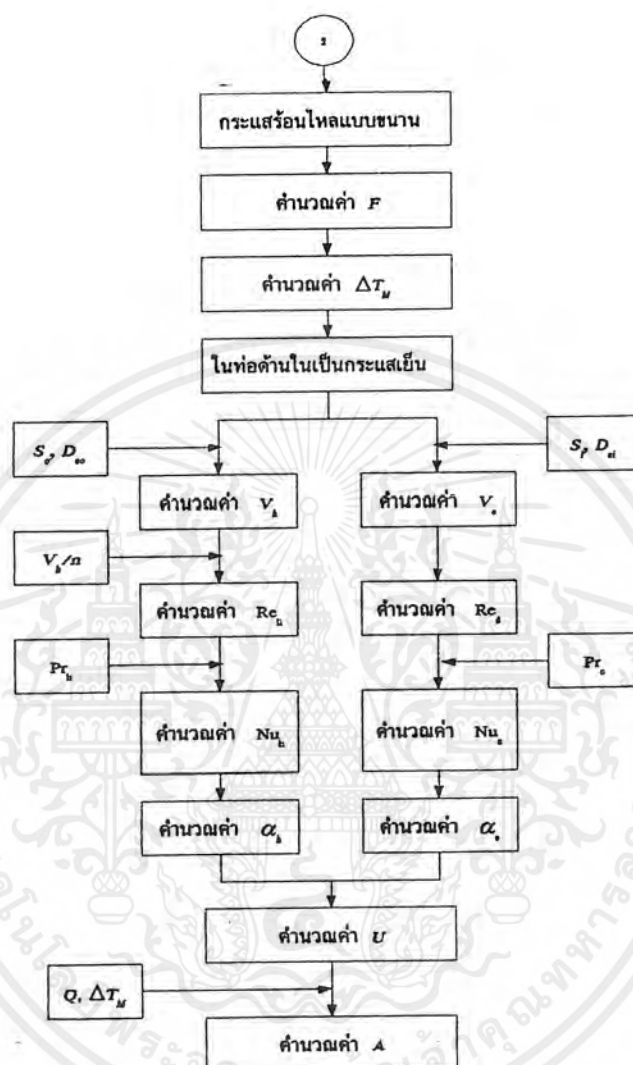
รูปที่ 3.8 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลเย็นไหลแบบขนาน และของไหลเย็นไหลในท่อตันในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

3) กรณีที่ 3 ของไหลร้อนไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลในท่อด้านใน



รูปที่ 3.9 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลแบบขนานและของไหลร้อนไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

4) กรณีที่ 4 ของไหลร้อนไหลแบบขนานและของไหลเย็นไหลในท่อด้านใน

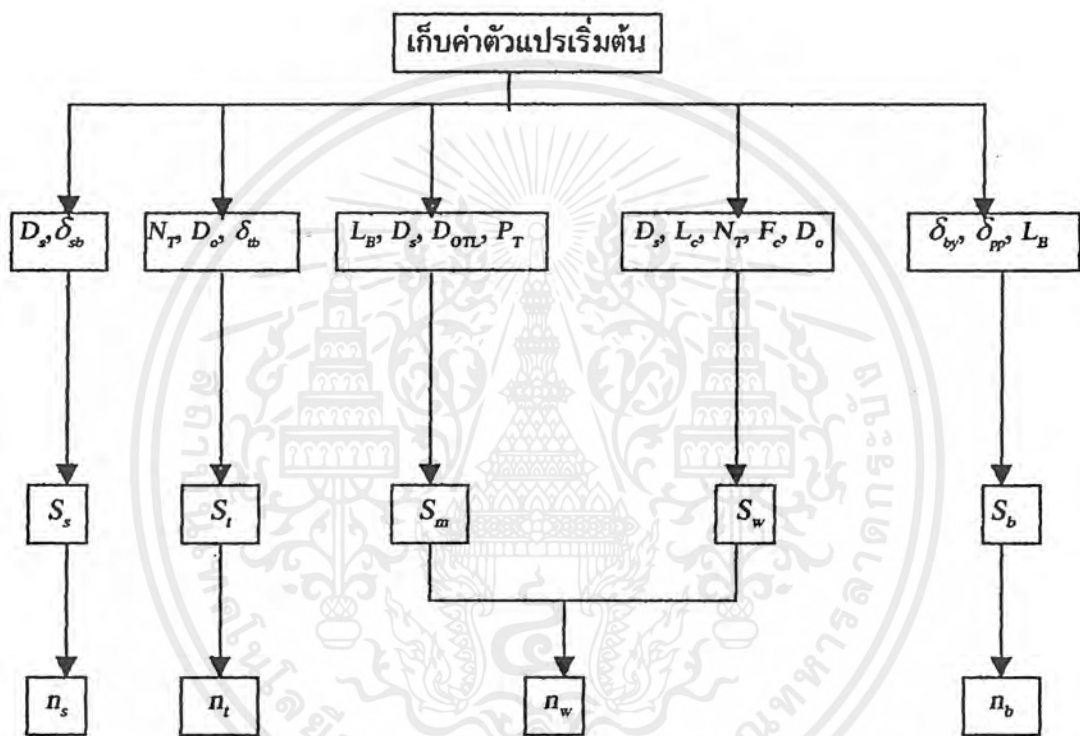


รูปที่ 3.10 แผนภูมิการคำนวณค่าพื้นที่ถ่ายเทความร้อน กรณีของไหลร้อนไหลแบบขนานและของไหลเย็นไหลในท่อด้านในของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย

3.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

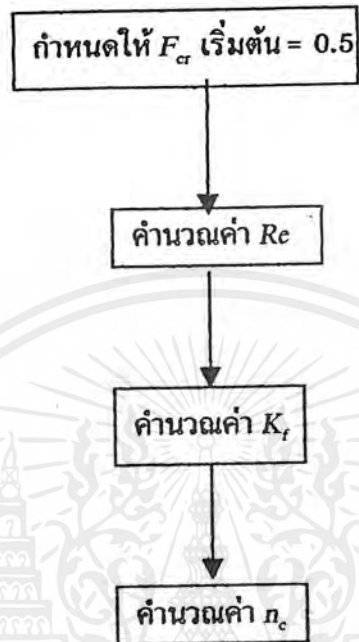
3.2.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล และการคำนวณค่าความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์

1) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทาน (n) ต่าง ๆ



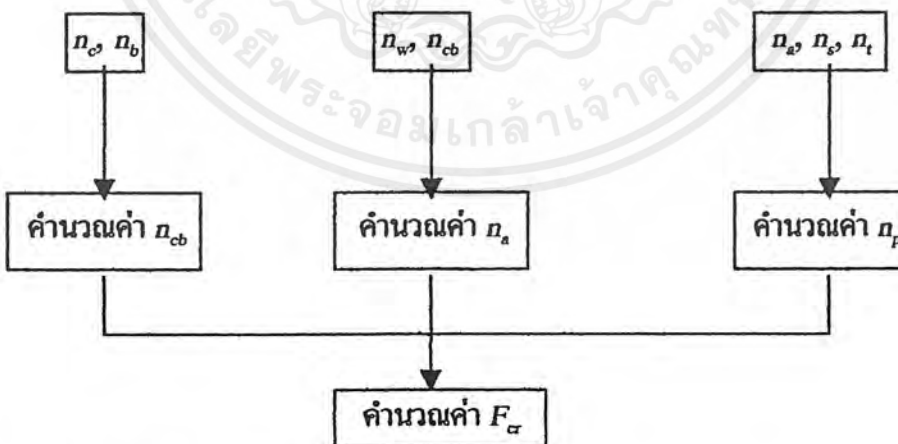
รูปที่ 3.11 แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานต่าง ๆ

2) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลแบบตั้งฉาก (n_c)



รูปที่ 3.12 แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลแบบตั้งฉาก

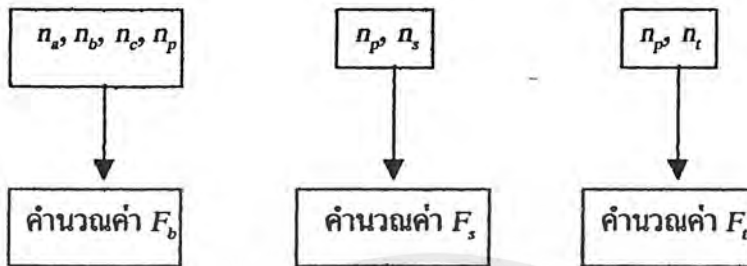
3) คำนวณค่า F_{cr} ใหม่



รูปที่ 3.13 แผนภูมิการคำนวณค่า F_{cr}

4) ทำขั้นที่ 2) และ 3) ซ้ำ จนได้ค่า F_{sc} ที่เหมาะสม

5) คำนวณค่าสัดส่วนการไหลของแต่ละกระแส (F_i)



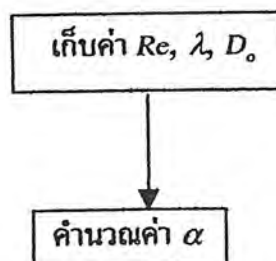
รูปที่ 3.14 แผนภูมิการคำนวณค่าสัดส่วนการไหลของแต่ละกระแส

6) คำนวณค่าความดันลดในเซลล์ (ΔP_s)



รูปที่ 3.15 แผนภูมิการคำนวณค่าความดันลดในเซลล์

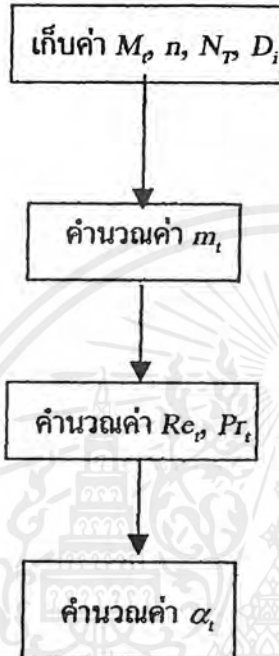
7) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์ (α)



รูปที่ 3.16 แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านเซลล์

3.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล และการคำนวณค่าความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ

1) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.17 แผนภูมิการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านท่อ

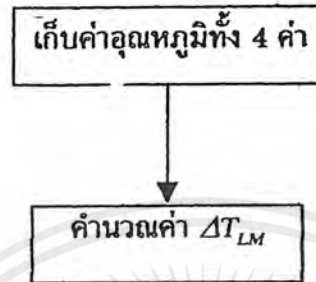
2) คำนวณค่า ΔP_t



รูปที่ 3.18 แผนภูมิการคำนวณค่าความดันลดในท่อ

3.2.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล และการคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน พื้นที่การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม โดยวิธี LMTD

1) คำนวณค่า ΔT_{LM}



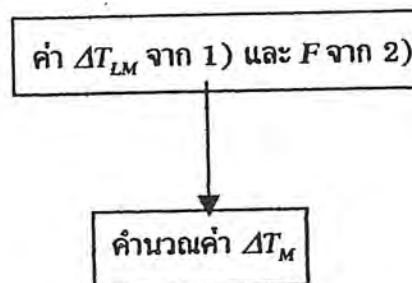
รูปที่ 3.19 แผนภูมิการคำนวณค่า ΔT_{LM}

2) คำนวณค่า F

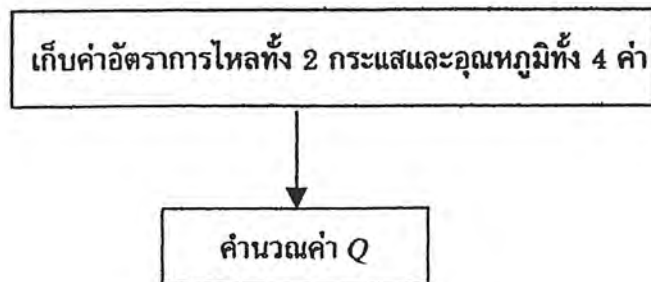


รูปที่ 3.20 แผนภูมิการคำนวณค่า F

3) คำนวณค่า ΔT_M

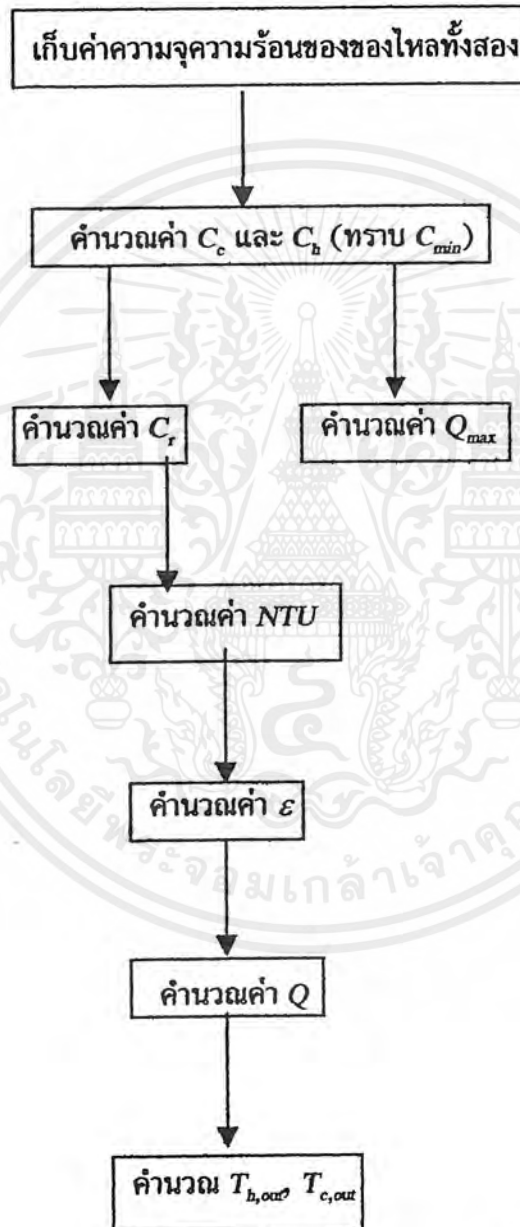


รูปที่ 3.21 แผนภูมิการคำนวณค่า ΔT_M

4) คำนวณค่า Q รูปที่ 3.22 แผนภูมิการคำนวณค่า Q 5) คำนวณค่า U รูปที่ 3.23 แผนภูมิการคำนวณค่า U

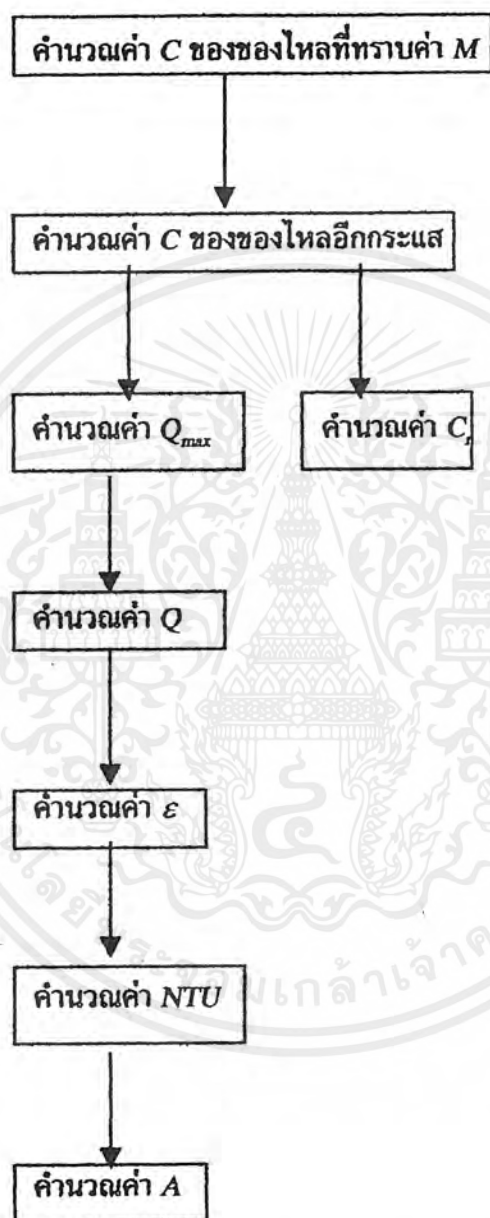
3.2.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล และการคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน พื้นที่การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม โดยวิธี effectiveness-NTU

3.2.4.1 การหาค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ทราบค่า U , A , M_c , M_h , $T_{c,in}$, $T_{h,in}$)



รูปที่ 3.24 แผนภูมิการคำนวณค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

3.2.4.2 การหาขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ทราบค่าอุณหภูมิที่เข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลทั้งสอง อัตราการไหล 1 ค่า และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม)



รูปที่ 3.25 แผนภูมิการคำนวณค่าขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

บทที่ 4

รูปแบบโปรแกรม

โปรแกรมส่งเสริมการเรียนรู้และช่วยคำนวณออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎี ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงเนื้อหา รวมทั้งสมการที่ใช้ในการคำนวณ และส่วนของการคำนวณ โดยจะคำนวณหาพื้นที่การถ่ายเทความร้อน และผลการคำนวณค่าต่าง ๆ ตามลำดับจนได้ค่าที่ต้องการ หัวข้อต่าง ๆ ที่ศึกษา แบ่งเป็นชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

4.1 ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เป็นการแบ่งประเภทตามความแตกต่างหลาย ๆ ลักษณะ เช่น

ลักษณะของการแลกเปลี่ยนความร้อน ลักษณะของของไหลที่ใช้ ลักษณะการทำงาน เป็นต้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียดที่สำคัญและมีรูปภาพประกอบ

4.2 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

ประกอบด้วยส่วนทฤษฎีและส่วนการคำนวณ โดยแบ่งเป็นเรื่อง ๆ ได้ดังนี้

4.2.1 ทฤษฎี

แสดงลักษณะของการออกแบบแบบต่าง ๆ มีรูปภาพประกอบ แสดงประโยชน์ ข้อดี-ข้อเสีย จากนั้นจะเป็นสมการที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณ ในส่วนของการคำนวณ ซึ่งจะแสดงเป็นลำดับตามขั้นตอน

4.2.2 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นอย่างง่าย

เป็นการคำนวณการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 1 หน่วยเท่านั้น มีข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องป้อนให้กับโปรแกรมคือ ขนาดของส่วนต่าง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และสมบัติของของไหลที่ใช้งาน

4.2.3 การคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นหลายหน่วย (แบบอนุกรม/แบบขนาน)

มีข้อมูลเบื้องต้นที่ต้องป้อนเหมือนกับส่วนที่สอง แต่ลักษณะการไหลจะเป็นแบบขนานและอนุกรม ตามลักษณะการใช้งานหลายหน่วย

4.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

อุปกรณ์ดังกล่าวจะมีทั้งส่วนที่เป็นทฤษฎีและส่วนการคำนวณเช่นกัน แบ่งได้ดังนี้

4.3.1 ส่วนทฤษฎี

ส่วนทฤษฎีจะคล้ายกับเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

4.3.2 คำนวณความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

การคำนวณนี้ต้องทราบข้อมูลเบื้องต้น เช่น รูปแบบโครงร่างของท่อ สมบัติของของไหล อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล อุณหภูมิ และขนาดของส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

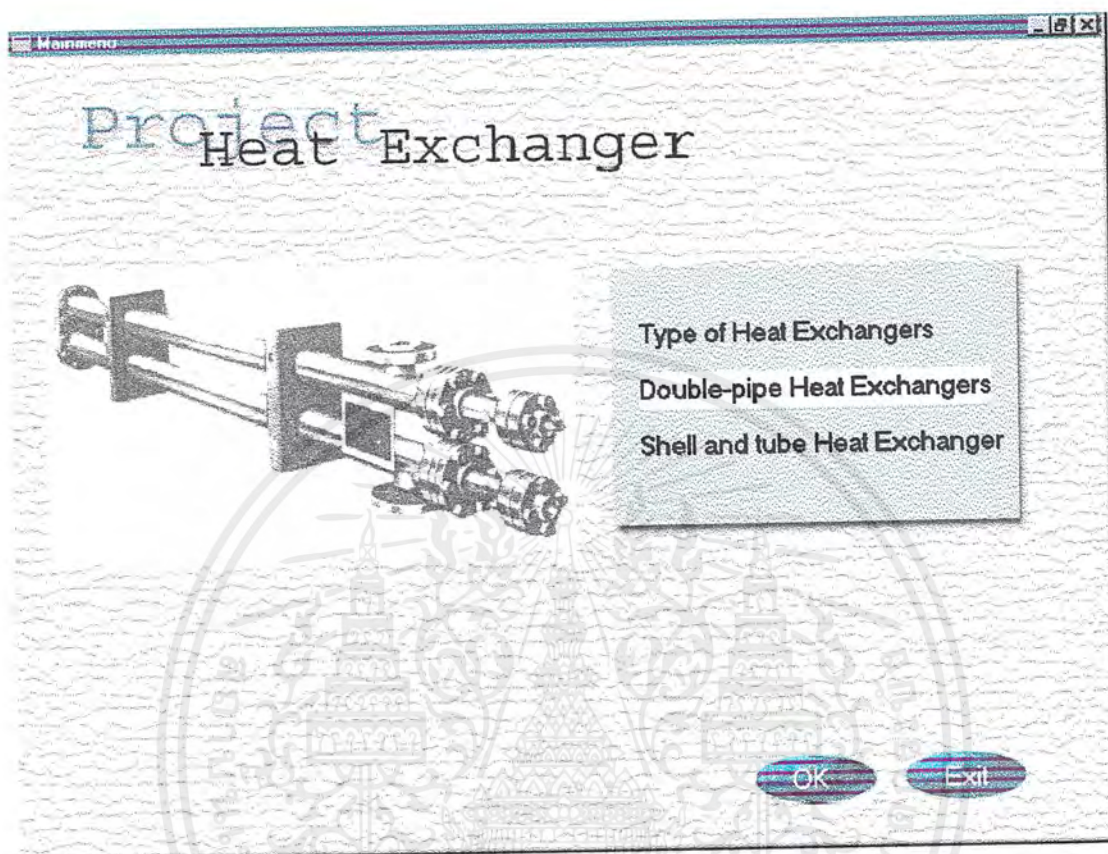
4.3.3 คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อน พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

การคำนวณดังกล่าวสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีเอฟเฟคทีฟเนส-เอ็นทียู (effectiveness-NTU) และวิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (LMTD) ซึ่งมีข้อจำกัดคือสมการที่ใช้คำนวณค่าแฟคเตอร์แก้ไข (F) สามารถคำนวณได้เฉพาะการไหลผ่านเซลล์เดียวเท่านั้น

4.4 การใช้งานส่วนใหญ่ของโปรแกรม

การใช้งานจะเป็นการคลิกเลือกเรื่องที่ต้องการ แล้วคลิกที่ปุ่ม OK หรือหากเป็นรายละเอียดย่อย ๆ จะมีการแสดงผลทันที ความหมายของปุ่มที่สำคัญ เช่น ปุ่ม Back เป็นการกลับไปหน้าจอก่อนหน้านี้ ปุ่ม Exit เป็นการออกจากโปรแกรม ปุ่ม Calculation แสดงผลการคำนวณ ปุ่ม Next เป็นการแสดงผลในเรื่องนั้น ๆ ในหน้าจอถัดไป ปุ่ม Picture เป็นปุ่มที่ใช้แสดงรูปภาพ ปุ่ม Detail on/Close เป็นปุ่มที่ใช้ปิดหรือเปิดรายละเอียดของภาพประกอบเป็นต้น ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมที่สำคัญมีดังนี้

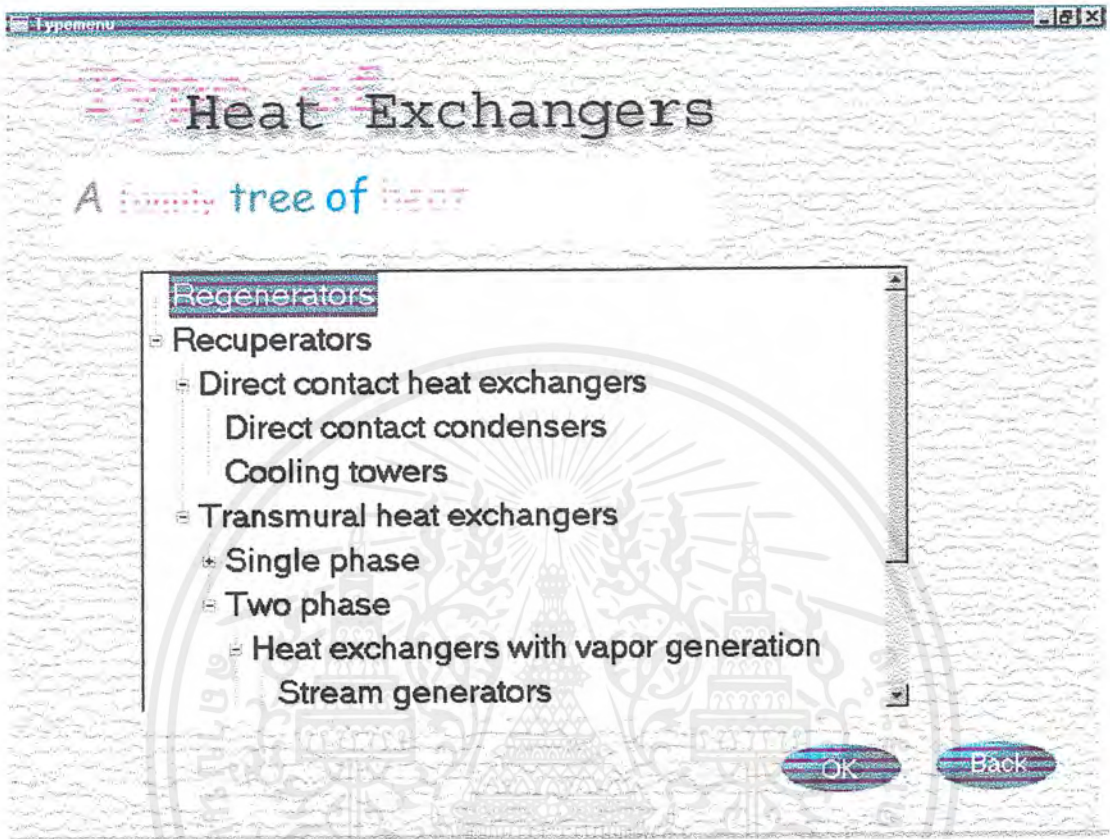
4.4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม



รูปที่ 4.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม

แสดงตัวเลือกซึ่งมี 3 เรื่อง เลือกตัวเลือกที่ต้องการได้โดยการคลิก ตัวเลือกที่ถูกเลือกจะเกิดแถบสี จากนั้นให้คลิกปุ่ม OK เพื่อแสดงการทำงานในหน้าจอถัดไป หากต้องการออกจากโปรแกรมให้คลิกปุ่ม Exit

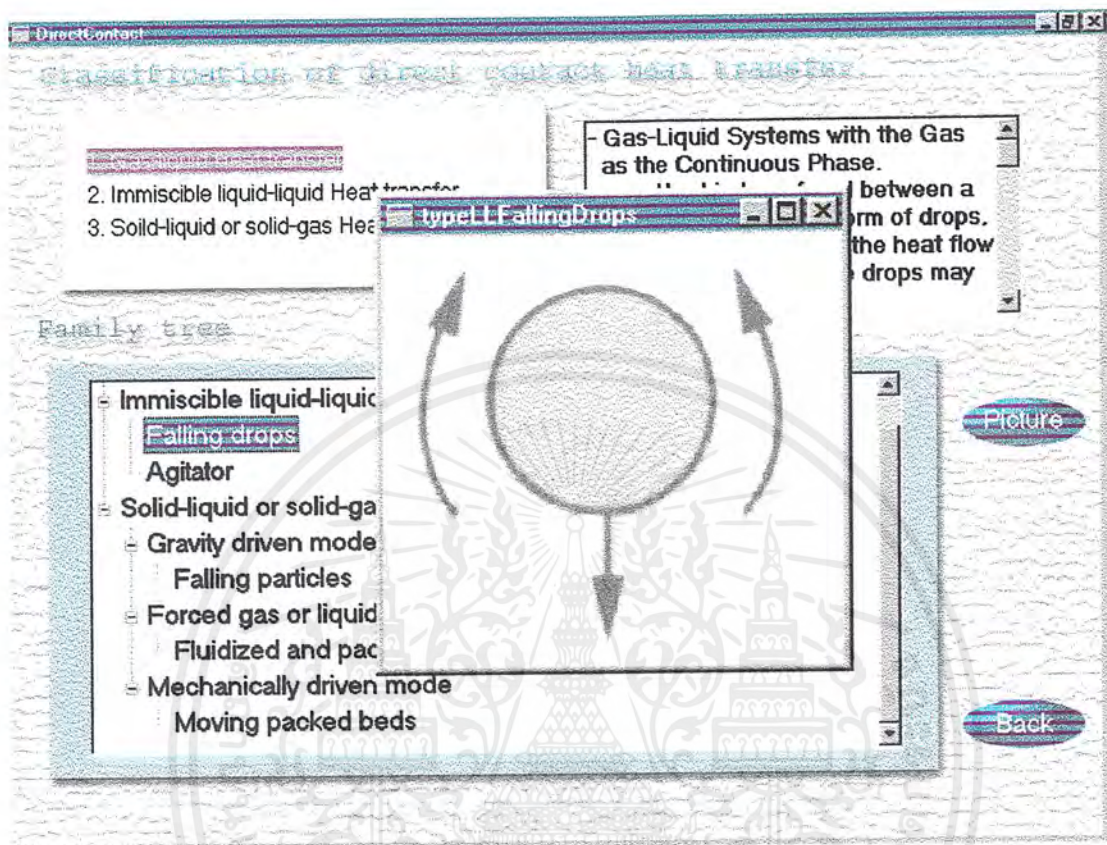
4.4.2 การแบ่งประเภทโดยใช้แผนภูมิต้นไม้



รูปที่ 4.2 ประเภทของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

แสดงการแบ่งชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตามลักษณะต่าง ๆ เป็นลำดับ สามารถคลิกดูรายละเอียดในแต่ละเรื่องได้จากแผนภูมิต้นไม้ จากนั้นคลิกปุ่ม OK และหากต้องการกลับไปหน้าจอหลักให้คลิกปุ่ม Back การคลิกที่เครื่องหมาย + จะแสดงตัวเลือกย่อย ๆ และการคลิกที่เครื่องหมาย - จะเป็นการรวมตัวเลือกย่อย ๆ

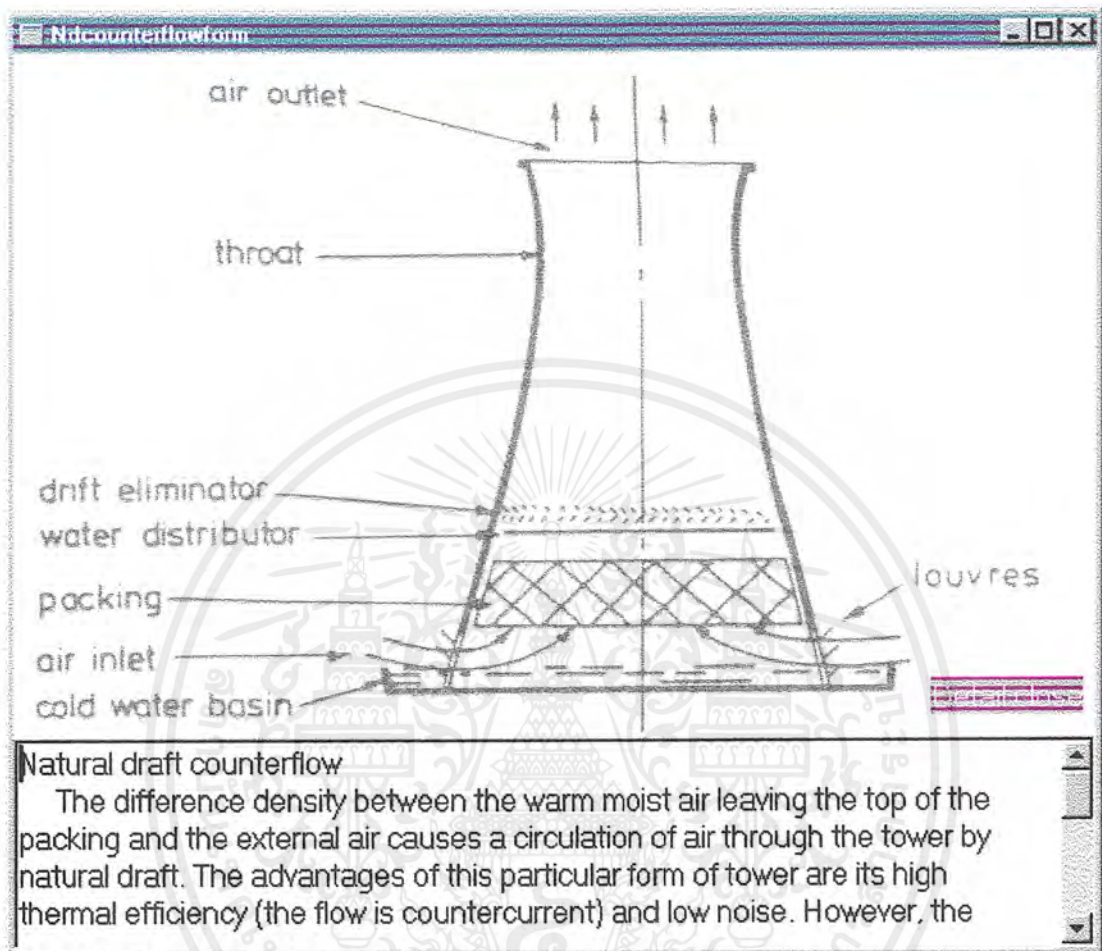
4.4.3 การแสดงผลโดยใช้ปุ่ม Picture



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพประกอบจากปุ่ม Picture

จากรูปที่ 4.3 แสดงภาพประกอบหลังจากการคลิกปุ่ม Picture ถ้าต้องการเลือกดูภาพอื่น ๆ จะต้องปิดภาพปัจจุบันก่อน ในทำนองเดียวกันกับการแสดงผลเป็นรูปภาพในลักษณะหน้าต่างของส่วนอื่น ๆ ในโปรแกรม

4.4.4 ตัวอย่างของภาพประกอบในลักษณะหน้าต่าง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพประกอบที่มีการแสดงรายละเอียดได้

ในภาพจะมีปุ่ม Detail on/close ปากก้อยู่ ซึ่งใช้เปิดหรือปิดรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับภาพนั้น ๆ

4.4.5 ตัวอย่างการป้อนข้อมูล

Double Pipe Calculator

Dimension

Inner diameter of tube (m)

Outer diameter of tube (m)

Inner diameter of shell (m)

Cross-sectional area of inner tube (m²)

Mean hydraulic diameter (m)

Cross-section area of annulus (m²)

Mean hydraulic diameter (m)

Properties of solid fluid

Density (kg/m³)

Specific heat (J/kg K)

Conductivity (W/m K)

Viscosity (N s/m²)

Kinematic viscosity (m²/s)

Thermal diffusivity (m²/s)

Prandtl number

Properties of hot fluid

Density (kg/m³)

Specific heat (J/kg K)

Conductivity (W/m K)

Viscosity (N s/m²)

Kinematic viscosity (m²/s)

Thermal diffusivity (m²/s)

Prandtl number

Thermal conductivity of wall (W/m K)

Next **Back**

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างหน้าจอการใส่ข้อมูล

ในการคำนวณต้องป้อนข้อมูลเบื้องต้น โดยเมื่อใส่ข้อมูลในแต่ละส่วนเรียบร้อยแล้ว ต้องคลิกปุ่ม Calculation เพื่อแสดงผลทุกครั้ง ดังภาพ

นอกจากการป้อนค่าแบบธรรมดาแล้ว ยังสามารถดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลในโปรแกรมขึ้นมาได้ ตัวอย่างเช่น การใช้ปุ่ม Datalink เมื่อคลิกที่ปุ่มนี้ จะแสดงหน้าจอในรูป 4.6 ขึ้นมา จากนั้นเลือกของไหลที่ต้องการ แล้วคลิกปุ่มแสดงตารางด้านขวา จะปรากฏตารางสมบัติของของไหลนั้น เลือกอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วคลิกปุ่ม Back เพื่อกลับไปที่หน้าจอในรูป 4.5 จากนั้นดึงค่าสมบัติจากตารางมาใช้ในการคำนวณ โดยคลิกที่ปุ่ม Transfer

Properties table

Ethanol

Tsat (K)	Density (kg/m ³)	Specific heat (kJ/kg K)	Viscosity (uN s/m ²)	Conductivity (mW m ² /K m)
351.45	757	3	428.7	153.6
373	733.7	3.3	314.3	150.7
393	709	3.61	240	146.5
413	680.3	3.96	185.5	141.9
433	648.5	4.65	144.6	137.2
453	610.5	5.51	113.6	134.8
473	564	6.16	89.6	129.1
483	537.6	6.61	79.7	125.6

Back

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างหน้าจอแสดงสมบัติของของไหล

4.4.6 ตัวอย่างหน้าจอการคำนวณ

1. know temp 4 point and 1 flow flow that you don't know
2. know temp 3 point and 2 flow

Temp of cold inlet (K) Temp of hot inlet (K) Flow of cold fluid (kg/s)
Temp of cold outlet (K) Temp of hot outlet (K) Flow of hot fluid (kg/s)

3. Fluid in the inner tube is

mean velocity (m/s) mean velocity (m/s) Overall heat transfer coefficient (W/m² K)
Reynolds number Reynolds number Temperature ratio parameter
Prandtl number Prandtl number P
Nusselt number Nusselt number R
Heat transfer coefficient (W/m² K) Heat transfer coefficient (W/m² K) Surface area (m²)
Length (m)
Pressure drop in tube (N/m²)

OK Back

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างหน้าจอการคำนวณ

ในการคำนวณที่ต้องมีการกำหนดเงื่อนไข หลังจากกำหนดเงื่อนไขเรียบร้อยแล้ว (แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาว) คลิกปุ่ม OK เพื่อเริ่มการคำนวณในช่วงต่อไป

4.4.7 ตัวอย่างหน้าจอแสดงทฤษฎี

totalheatrate

Total rate of heat transfer equation

$$Q = UA\Delta T_{LM}$$

When the fluid flow rates and the inlet and outlet temperatures are known

$$Q = M_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) = M_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out})$$

Position of temperature

Symbol expression

Total rate of heat transfer
Unit is W(watt)

Next Back

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างหน้าจอแสดงทฤษฎี

มีการแสดงสมการที่ใช้ในการคำนวณพร้อมคำอธิบายสั้น ๆ นอกจากนี้ ยังสามารถแสดงนิยามและหน่วยได้จากการคลิกที่ตัวแปรนั้น ๆ ดังภาพ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป

โปรแกรมส่งเสริมการเรียนรู้และช่วยออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมเตลไฟล์ โดยแบ่งเป็น 3 เรื่องใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ ทั้งนี้ ในเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ จะแสดงรายละเอียดและภาพประกอบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่าง ๆ โดยอ้างอิงตามหนังสือ Process Heat Transfer ของ G. F. Hewitt, G. L. Shires, and T. R. Bott ในส่วนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อนั้น จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทฤษฎีและส่วนคำนวณ ในส่วนทฤษฎีจะแสดงรายละเอียด ภาพประกอบ และสมการในการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่สำคัญของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนั้น ๆ ในส่วนคำนวณจะเป็นส่วนที่ช่วยให้ทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยทำการใส่ค่าต่าง ๆ ที่ทราบลงไป แล้วโปรแกรมจะคำนวณค่าที่ต้องการทราบและแสดงผลออกมาให้ แบ่งการคำนวณเป็นการหาความดันตกในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน พื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และหาสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน วิธีการที่ใช้ในการคำนวณคือ วิธีความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อก (LMTD) และวิธีเอฟเฟคทีฟเนส-เอ็นทียู (effectiveness-NTU)

จากการใช้งานโปรแกรมพบว่า ผลการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้อง อีกทั้งทำให้มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น โดยเห็นภาพลักษณะได้ง่าย อีกทั้งเนื้อหาต่าง ๆ ก็น่าสนใจและน่าติดตาม และช่วยให้ทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านกราฟฟิกรอื่น ๆ มาช่วยในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป เพื่อความน่าสนใจและสามารถใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น เช่น โปรแกรม Toolbook เป็นต้น

5.2.2 เพิ่มข้อมูลในส่วนทฤษฎีและสมการในการคำนวณให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดความหลากหลายในเนื้อหา ทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทราบได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น และเป็นทางเลือกให้แก่ผู้ใช้โปรแกรม

รายการอ้างอิง

- [1] Hewitt, G. F.; Shires and T.R. Bott. Process Heat Transfer. USA: CRC Press, 1994.
- [2] ดร.วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล. อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด, 2536.
- [3] Rajiv Mukherjee. Effectively Design Shell-and-Tube Heat Exchangers. Chemical Engineering Progress (Feb 1998): 21 – 37.
- [4] พงษ์เจต พรหมวงศ์. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. มิถุนายน 2534.
- [5] Frank P. Incropera; David P. DeWitt. Introduction to Heat Transfer. 3rd ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [6] นักสิทธิ์ คูวัฒนชัย. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.
- [7] กนก กุศลมาลย์นุกูล และไกรวุฒิ มั่นเสถียรสิน. คู่มือการเขียนโปรแกรม Delphi 4. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ชัคเชส มีเดีย จำกัด.
- [8] สมศักดิ์ ศรีขจรเกียรติ. Delphi 4 Step by Step. กรุงเทพฯ: บิบลีโอไฟล์ พับลิชชิง. 2542.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

สมบัติทางกายภาพของสารต่าง ๆ

สมบัติต่าง ๆ ของสารที่แสดงในภาคผนวก ก ประกอบด้วย

- ความดัน (ไอ) อิ่มตัว (p_{sat})
- ความหนาแน่นในสถานะของเหลว (ρ_l)
- ความหนาแน่นในสถานะก๊าซ (ρ_g)
- เอนทาลปีในสถานะของเหลว (h_l)
- เอนทาลปีในสถานะก๊าซ (h_g)
- ความร้อนในการระเหยเป็นไอ $(\Delta h_{e,l})$
- ความจุความร้อนในสถานะของเหลว $(c_{p,l})$
- ความจุความร้อนในสถานะก๊าซ $(c_{p,g})$
- ความหนืดในสถานะของเหลว (η_l)
- ความหนืดในสถานะก๊าซ (η_g)
- การนำความร้อนในสถานะของเหลว (λ_l)
- การนำความร้อนในสถานะก๊าซ (λ_g)
- แพลนท์นัมเบอร์ในสถานะของเหลว (Pr_l)
- แพลนท์นัมเบอร์ในสถานะก๊าซ (Pr_g)
- แรงตึงผิว (σ)
- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน $(\beta_{e,l})$

ตาราง ก-1 สมบัติของของไหลอิ่มตัว

Cyclohexane

Chemical formula: $\text{CH}_2((\text{CH}_2\text{CH}_2)_2)\text{CH}_2$
Molecular weight: 84.132
Normal boiling point: 353.87 K
Melting point: 279.7 K

Critical temperature: 554.15 K
Critical pressure: 4075 kPa
Critical density: 273 kg/m³

T_{sat} (K)	353.87	360	385	410	435	460	485	510	535	554.15	
p_{sat} (kPa)	101.3	124	234	414	689	1069	1586	2275	3723	4075	[47]
ρ_l (kg/m ³)	715	710	685	660	630	590	555	510	445	273	[47]
ρ_g (kg/m ³)	3.02	3.75	6.76	11.6	18.9	29.0	42.9	64.6	144	273	[60]
h_l (kJ/kg)	314.0	325.6	379.1	434.9	500.1	558.2	628.0	707.1	790.8	895.5	[15]
h_g (kJ/kg)	674.2	681.34	717.2	751.9	791.5	820.44	859.8	902.1	933.0	895.5	[15]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	360.2	355.7	338.1	316.9	291.4	262.2	231.8	195.0	142.2		[47]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	1.84	1.86	1.93	1.99	2.07	2.13	2.23	2.49	2.82		[5]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.60	1.64	1.79	1.95	2.15	2.36	2.57	3.11	7.05		[63, 20]
η_l [(μN · s)/m ²]	400	370	280	230	190	160	135	115	95.0	54.0	[87, 88]
η_g [(μN · s)/m ²]	8.60	8.71	9.44	10.18	10.72	11.58	12.33	13.56	17.73	54.0	[43]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	102	100	92.6	86.5	77.9	69.2	60.6	56.5	48.3	57.9	[34, 25]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	16.5	17.4	20.1	22.9	26.0	30.4	36.1	39.4	45.9	57.9	[86]
Pr_l	7.21	6.88	5.83	5.29	5.05	4.92	4.96	5.07	5.55		[12]
Pr_g	0.83	0.82	0.84	0.87	0.87	0.90	0.88	1.07	2.72		[12]
σ [(m · N)/m]	18.0	17.2	13.0	11.0	8.1	5.2	2.0	1.5	0.5		[89]
$\beta_{e,l}$ (K ⁻¹)	1.10	1.30	1.48	1.70	2.31	2.50	3.05	4.89	15.8		[10]

Benzene

Chemical formula: C_6H_6
Molecular weight: 78.108
Normal boiling point: 353.25 K
Melting point: 278.7 K

Critical temperature: 562.6 K
Critical pressure: 4924 kPa
Critical density: 301.6 kg/m³

T_{sat} (K)	353.3	375	400	425	450	475	500	525	550	562.6	
p_{sat} (kPa)	101.3	191	354	607	975	1484	2166	3060	4218	4924	[1]
ρ_l (kg/m ³)	823	798	767	735	699	660	615	559	475	304	[1]
ρ_g (kg/m ³)	2.74	4.90	8.87	14.8	23.6	36.1	54.2	82.0	133	304	[1]
h_l (kJ/kg)	-154.3	-113.0	-62.1	-8.9	47.5	106.8	169.7	238.6	322.8	432.6	[1]
h_g (kJ/kg)	243.4	270.3	302.1	334.8	367.9	400.7	432.3	460.4	478.5	432.6	[1]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	397.7	383.3	364.2	343.7	320.4	293.9	262.6	221.8	155.7		[1]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	1.88	1.98	2.08	2.20	2.32	2.45	2.60	2.83			[1]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.29	1.40	1.53	1.67	1.81	2.01	2.32	2.73			[4, 20]
η_l [(μN · s)/m ²]	321	258	205	166	138	116	97.9	80.7	59.6		[1]
η_g [(μN · s)/m ²]	9.26	9.87	10.7	11.5	12.5	13.7	15.0	16.8	19.1		[1]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	131	126	119	112	106	100	93.5	87.1	77.4	62.6	[2]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	14.8	17.1	19.8	23.0	26.7	31.0	35.7	41.1	50.2	62.6	[2, 22]
Pr_l	4.61	4.05	3.58	3.26	3.02	2.84	2.75	2.62			[12]
Pr_g	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.89	0.97	1.12			[12]
σ [(m · N)/m]	21.2	18.5	15.5	12.7	9.89	7.26	4.80	2.55	0.65		[6]
$\beta_{e,l}$ (K ⁻¹)	1.15	1.37	1.67	2.02	2.49	3.13	4.32	6.98	16.0		[10]

ตาราง ก-1 สมบัติของของไหลอิมตัว (ต่อ)

Methanol

Chemical formula: CH₃OH
Molecular weight: 32.00
Normal boiling point: 337.85 K
Melting point: 175.15 K

Critical temperature: 513.15 K
Critical pressure: 7950 kPa
Critical density: 275 kg/m³

T_{sat} (K)	337.85	353.2	373.2	393.2	413.2	433.2	453.2	473.2	493.2	511.7	
p_{sat} (kPa)	101.3	178.4	349.4	633.3	1076	1736	2678	3970	5675	7775	[1]
ρ_l (kg/m ³)	751.0	735.5	714.0	690.0	664.0	634.0	598.0	553.0	490.0	363.5	[1]
ρ_g (kg/m ³)	1.222	2.084	3.984	7.142	12.16	19.94	31.86	50.75	86.35	178.9	[1]
h_l (kJ/kg)	0.0	45	108	176	249	328	413	506			[84]
h_g (kJ/kg)	1101	1115	1130	1144	1171	1171	1169	1151			[104]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	1101	1070	1022	968	922	843	756	645	482		[105]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	2.88	3.03	3.26	3.52	3.80	4.11	4.45	4.81			[6]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.55	1.61	1.69	1.83	1.99	2.20	2.56	3.65	5.40		[3]
η_l [(μN · s)/m ²]	326	271	214	170	136	109	88.3	71.6	58.3	41.6	[1, 20, 106]
η_g [(μN · s)/m ²]	11.1	11.6	12.4	13.1	14.0	14.9	16.0	17.4	20.1	26.0	[4, 21]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	191.4	187.0	181.3	178.5	170.0	164.0	158.7	153.0	147.3	142.0	[2]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	18.3	20.6	23.2	26.2	29.7	33.8	39.4	46.9	60.0	98.7	[2, 22, 107]
Pr_l	5.13	4.67	4.15	3.61	3.34	2.82	2.56	2.42			[12]
Pr_g	0.94	0.91	0.90	0.92	0.94	0.97	1.04	1.35	1.81		[12]
α [(m · N)/m]	18.75	17.5	15.7	13.6	11.5	9.3	6.9	4.5	2.1	0.09	[1]
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	0.42	1.20	1.69	2.00	2.49	3.15	4.21	6.40	17.2		[10]

Ethanol

Chemical formula: CH₃CH₂OH
Molecular weight: 46.1
Normal boiling point: 351.45 K
Melting point: 158.65 K

Critical temperature: 516.25 K
Critical pressure: 6390 kPa
Critical density: 280 kg/m³

T_{sat} (K)	351.45	373	393	413	433	453	473	483	503	513	
p_{sat} (kPa)	101.3	226	429	753	1256	1960	2940	3560	5100	6020	[1]
ρ_l (kg/m ³)	757.0	733.7	709.0	680.3	648.5	610.5	564.0	537.6	466.2	420.3	[1]
ρ_g (kg/m ³)	1.435	3.175	5.841	10.25	17.15	27.65	44.40	56.85	101.1	160.2	[1, 62]
h_l (kJ/kg)	202.5	271.7	340.0	413.2	491.5	576.5	670.7	722.2	837.4	909.8	[1]
h_g (kJ/kg)	1165.5	1198.7	1225.5	1247.2	1264.4	1275.3	1269.0	1259.0	1224.6	1190.3	[1]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	963.0	927.0	885.5	834.0	772.9	698.9	598.3	536.7	387.3	280.5	[1]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	3.00	3.30	3.61	3.96	4.65	5.51	6.16	6.61			[1, 5]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.83	1.92	2.02	2.11	2.31	2.80	3.18	3.78	6.55		[3, 20, 106]
η_l [(μN · s)/m ²]	428.7	314.3	240.0	185.5	144.6	113.6	89.6	79.7	63.2	56.3	[25]
η_g [(μN · s)/m ²]	10.4	11.1	11.7	12.3	12.9	13.7	14.5	15.1	16.7	18.5	[1, 21]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	153.6	150.7	146.5	141.9	137.2	134.8	129.1	125.6	108.0	79.11	[3]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	19.9	22.4	24.5	26.8	29.3	32.1	35.3	37.8	43.9	50.7	[2, 22, 107]
Pr_l	8.37	6.88	5.91	5.18	4.90	4.64	4.28	4.19			[12]
Pr_g	0.96	0.95	0.96	0.97	1.02	1.20	1.31	1.51	2.49		[12]
α [(m · N)/m]	17.7	15.7	13.6	11.5	9.3	6.9	4.5	3.3	0.9	0.34	[1]
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	1.41	1.60	1.90	2.41	3.13	4.18	6.06	7.56	16.0		[10]

ตาราง ก-1 สมบัติของของไหลอัดตัว (ต่อ)

Phenol

Chemical formula: C_6H_5OH
Molecular weight: 94.1
Normal boiling point: 454.95 K
Melting point: 313.90 K

Critical temperature: 693.2 K
Critical pressure: 6130 kPa
Critical density: 435.7 kg/m³

T_{sat} (K)	455	480	505	530	555	580	605	635	665	693.15	
p_{sat} (kPa)	101.3	216	404	693	1100	1650	2360	3410	4720	6129	[75]
ρ_l (kg/m ³)	955	932	905	877	851	809	772	713	636	436	[86]
ρ_g (kg/m ³)	2.60	5.36	9.88	16.9	27.2	41.9	62.9	101	170	436	[62, 106]
h_l (kJ/kg)	-153	-93	-41	20	80	147	206	290	399	514	[67]
h_g (kJ/kg)	336	374	411	447	482	515	545	575	587	514	[82, 62, 69, 106]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	489	467	452	427	402	368	339	285	188		[66]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	2.55	2.61	2.66	2.76	2.85	3.01	3.10	3.43	3.77		[5]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.63	1.74	1.85	1.95	2.06	2.22	2.44	2.94	5.10		[30, 62, 106]
η_l [(μN · s)/m ²]	3.51	256	219	166	137	113	90.1	75.2	65.3	45.3	[25]
η_g [(μN · s)/m ²]	12.8	13.5	14.3	15.2	16.2	17.3	18.6	20.2	23.4	45.3	[26, 21]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	175	170	166	162	157	154	149	141	130	92	[7]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	28.9	31.6	34.8	38.4	42.4	46.8	51.4	56.2	64.3	92	[31, 22, 107]
Pr_l	5.11	3.93	3.51	2.83	2.59	2.21	1.87	1.57	1.89		[12]
Pr_g	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79	0.82	0.88	1.07	1.86		[12]
σ [(m · N)/m]	24.5	20.9	18.2	14.6	12.4	10.2	7.6	5.3	2.7		[6]
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	0.91	1.05	1.27	1.34	1.83	2.41	3.25	4.72	15.6		[10]

Refrigerant 12

Chemical formula: CCl_2F_2
Molecular weight: 120.92
Normal boiling point: 243.2 K
Melting point: 118 K

Critical temperature: 384.8 K
Critical pressure: 4132 kPa
Critical density: 561.8 kg/m³

T_{sat} (K)	243.2	260	275	290	305	320	335	350	365	384.8	
p_{sat} (kPa)	101.3	200	333	528	793	1145	1602	2183	2907	4132	[1]
ρ_l (kg/m ³)	1486	1436	1388	1338	1284	1225	1157	1075	969.7	561.8	[1]
ρ_g (kg/m ³)	6.33	11.8	19.2	29.9	44.8	65.4	94.6	136.4	203.2	561.8	[1]
h_l (kJ/kg)	473.6	488.3	501.9	516.3	531.1	546.8	563.8	582.3	603.2	649.8	[1]
h_g (kJ/kg)	641.9	649.8	656.6	662.9	668.8	674.0	677.8	679.9	679.0	649.8	[1]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	168.3	161.5	154.7	146.6	137.7	127.2	114.0	97.6	75.8		[1]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	0.896	0.911	0.932	0.957	0.990	1.03	1.08	1.13	1.22		[3]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	0.569	0.614	0.646	0.689	0.746	0.825	0.920	1.22	1.68		[3, 20]
η_l [(μN · s)/m ²]	373	303	262	231	208	187	167	144	119		[4]
η_g [(μN · s)/m ²]	10.3	11.0	11.7	12.5	13.3	14.2	15.2	16.5	18.1		[4]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	95.1	87.4	80.5	73.3	66.8	59.8	53.0	46.2	39.2	15.4	[2]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	6.9	7.7	8.4	9.2	10.0	10.8	11.6	12.3	13.4	15.4	[2, 22]
Pr_l	3.51	3.16	3.03	3.02	3.14	3.22	3.40	3.52	3.70		[12]
Pr_g	0.85	0.88	0.90	0.94	0.99	1.08	1.21	1.64	2.27		[12]
σ [(m · N)/m]	15.5	13.5	11.4	9.4	7.7	5.9	4.2	2.8	1.3		[23]
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	1.96	2.22	1.50	2.87	3.36	4.17	5.48	8.50	14.5		[10]

ตาราง ก-1 สมบัติของของไหลอิ่มตัว (ต่อ)

Ethyl Acetate

Chemical formula: CH ₃ CO ₂ C ₂ H ₅ Molecular weight: 88.10 Normal boiling point: 350.25 K Melting point: 189.55 K							Critical temperature: 523.25 K Critical pressure: 3832 kPa Critical density: 307.7 kg/m ³				
T _{sat} (K)	350.25	370	390	410	430	450	470	490	510	523.25	
p _{sat} (kPa)	101.3	193	310	510	792	1172	1655	2275	3172	3832	[47]
ρ _l (kg/m ³)	830	800	770	740	705	670	625	570	475	307.7	[47]
ρ _g (kg/m ³)	3.20	5.63	9.45	15.1	23.4	35.5	54.2	81.3	134.5	307.7	[62]
h _l (kJ/kg)	−89.7	−47.3	−6.7	35.7	81.3	131.7	182.0	241.7	315.8	362.8	[67]
h _g (kJ/kg)	274.6	300.2	326.2	351.8	376.5	399.6	420.6	434.3	433.0	362.8	[63, 62, 69]
Δh _{g,l} (kJ/kg)	364.3	347.5	332.9	316.1	295.2	267.9	238.6	192.6	117.2		[47]
c _{p,l} [kJ/(kg · K)]	2.10	2.17	2.28	2.36	2.50	2.64	2.82	3.09	3.76		[47, 70]
c _{p,g} [kJ/(kg · K)]	1.46	1.54	1.63	1.73	1.85	2.00	2.25	2.68	4.52		[63, 62]
η _l [(μN · s)/m ²]	255	221	193	158	134	111	90	72	56	57	[71, 33]
η _g [(μN · s)/m ²]	8.9	9.5	10.1	10.7	11.4	12.2	13.0	14.3	16.4	57	[47, 14]
λ _l [(mW · m ²)/(K · m)]	125	118	111	104	98	92	85	77	66	48.2	[34, 22]
λ _g [(mW · m ²)/(K · m)]	15.8	17.4	19.3	21.5	23.5	25.8	28.5	32.0	36.5	48.2	[47, 22]
Pr _l	4.28	4.08	3.96	3.59	3.42	3.19	2.99	2.89	3.19		[12]
Pr _g	0.82	0.84	0.85	0.86	0.90	0.95	1.03	1.20	2.03		[12]
σ [(m · N)/m]	17.4	15.0	12.6	10.0	7.8	5.8	3.9	2.3	0.74		[12]
β _{r,l} (kK ^{−1})	1.65	1.86	2.14	2.50	3.02	3.79	5.17	7.80	17.4		[10]

Chloroform

Chemical formula: CHCl_3 Molecular weight: 119.4 Normal boiling point: 334.5 K Melting point: 209.9 K							Critical temperature: 536.4 K Critical pressure: 5470 kPa Critical density: 498 kg/m ³				
T_{sat} (K)	334.5	360	380	400	420	440	460	480	505	536.4	
p_{sat} (kPa)	101.3	221	374	599	914	1321	1893	2598	3725	5470	[91]
ρ_l (kg/m ³)	1415	1361	1333	1282	1248	1184	1114	1050	969	498	[90]
ρ_g (kg/m ³)	4.50	9.33	15.3	23.4	36.1	53.0	77.3	109	158	498	[62]
h_l (kJ/kg)	−108	−79	−61	−41	−17	4	27	45	67	136	[67]
h_g (kJ/kg)	141	154	164	173	181	188	194	197	197	136	[62, 63, 69]
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	249	233	225	214	198	184	167	152	130		[66]
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	1.00	1.03	1.07	1.11	1.15	1.21	1.32	1.43	1.59		[5]
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	0.60	0.63	0.66	0.69	0.73	0.79	0.87	1.00	1.28		[62, 63]
η_l [(μN · s)/m ²]	400	342	299	267	220	197	181	165	150	65	[25]
η_g [(μN · s)/m ²]	11.2	12.2	13.0	13.7	14.6	15.5	16.5	17.9	19.8	65	[26, 21]
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	111	107	103	98.4	94.2	91.3	81.6	73.3	69.1	26.8	[7]
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	8.71	9.74	10.6	11.5	12.5	13.5	13.6	15.9	17.5	26.8	[31, 22]
Pr_l	3.60	3.29	3.11	3.01	2.69	2.61	2.93	3.22	3.45		[12]
Pr_g	0.77	0.79	0.81	0.81	0.85	0.91	1.06	1.13	1.45		[12]
σ [(m · N)/m]	22.5	18.6	16.0	13.6	11.2	9.5	6.8	5.9	3.1		[6]
$\beta_{e,l}$ (kK ^{−1})	1.38	1.58	1.78	2.03	2.36	2.82	3.54	4.63	6.86		[10]

ตาราง ก-1 สมบัติของของไหลอัดตัว (ต่อ)

Methane

Chemical formula: CH ₄										
Molecular weight: 16.042										
Normal boiling point: 111.42 K										
Melting point: 90.66 K										
Critical temperature: 190.55 K										
Critical pressure: 4641 kPa										
Critical density: 162 kg/m ³										
T_{sat} (K)	111.42	120	130	140	150	160	170	180	185	190
p_{sat} (kPa)	101	192	367	638	1033	1588	2338	3288	2854	4552
ρ_l (kg/m ³)	424.3	412.0	396.7	379.8	361.0	339.3	312.3	271.9	240.0	182.0
ρ_g (kg/m ³)	1.79	3.26	5.95	10.03	16.08	25.03	38.57	59.14	76.28	120.9
h_l (kJ/kg)	716.3	747.0	784.1	821.9	860.0	901.4	948.4	1011.1	1057.0	1133.4
h_g (kJ/kg)	1228.1	1241.8	1255.7	1267.2	1274.9	1277.6	1273.3	1258.9	1245.0	1203.2
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	511.8	494.8	471.8	445.3	414.9	376.2	324.9	247.8	188	69.8
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	3.43	3.53	3.63	3.77	3.94	4.12	5.16	7.45	11.3	70.5
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	2.07	2.11	2.19	2.33	2.53	2.90	3.62	5.95	6.33	277.5
η_l [(μN · s)/m ²]	106.5	86.05	71.65	61.26	52.24	44.54	37.69	30.98	26.92	19.34
η_g [(μN · s)/m ²]	4.49	4.84	5.28	5.74	6.27	6.89	7.69	8.89	9.84	12.96
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	193	178	163	148	133	118	103	88	80	73
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	12.1	12.9	16.4	19.6	23.0	27.6	33.7	39.9	45.3	62.0
Pr_l	1.88	1.70	1.60	1.56	11.55	1.56	1.89	2.62	3.80	18.8
Pr_g	0.77	0.79	0.71	0.68	0.69	0.72	0.83	1.33	1.38	58.01
σ [(m · N)/m]	13.5	11.5	9.28	7.22	5.31	3.58	2.06	0.81	0.33	0.01
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	2.27	3.46	4.37	5.18	6.58	8.87	14.2	32.8	58.6	385

Ethane

Chemical formula: CH ₃ CH ₃										
Molecular weight: 30.068										
Normal boiling point: 184.52 K										
Melting point: 89.88 K										
Critical temperature: 305.5 K										
Critical pressure: 4913 kPa										
Critical density: 212 kg/m ³										
T_{sat} (K)	184.52	200	210	230	240	260	270	280	290	300
p_{sat} (kPa)	101	217	334	700	968	1712	2208	2801	3510	4365
ρ_l (kg/m ³)	546.45	529.10	516.79	489.71	474.60	440.14	419.81	396.35	364.56	316.25
ρ_g (kg/m ³)	2.04	4.09	6.21	12.75	17.56	31.65	42.03	55.96	77.10	119.18
h_l (kJ/kg)	399.52	437.50	462.53	415.34	541.41	598.79	629.79	663.10	700.28	753.08
h_g (kJ/kg)	889.19	903.74	912.82	929.18	935.72	943.27	943.23	941.14	930.10	892.31
$\Delta h_{g,l}$ (kJ/kg)	489.67	466.24	450.29	414.84	394.31	344.48	313.44	278.04	299.82	139.23
$c_{p,l}$ [kJ/(kg · K)]	2.42	2.48	2.54	2.66	2.70	3.00	3.18	3.42	3.80	
$c_{p,g}$ [kJ/(kg · K)]	1.40	1.48	1.54	1.70	1.79	2.13	2.42	2.94	3.31	9.51
η_l [(μN · s)/m ²]	168	139	124	99.4	88.8	70.8	61.6	54.0	46.0	36.1
η_g [(μN · s)/m ²]	6.00	6.59	7.03	7.89	8.42	9.85	10.9	12.1	14.2	19.0
λ_l [(mW · m ²)/(K · m)]	157	146	140	126	117	99.2	92.1	83.9	76.0	67.4
λ_g [(mW · m ²)/(K · m)]	8.6	10.3	11.5	14.1	15.5	18.6	20.7	22.8	26.1	32.0
Pr_l	2.59	2.37	2.26	2.10	2.05	2.14	2.12	2.2	2.23	
Pr_g	0.98	0.95	0.94	0.95	0.97	1.13	1.27	1.56	1.80	5.64
σ [(m · N)/m]	15.86	13.28	11.71	8.51	6.85	4.28	3.14	2.00	1.14	0.43
$\beta_{e,l}$ (kK ⁻¹)	2.01	2.31	2.58	3.32	3.80	5.46	6.67	9.40	15.9	96.2

ภาคผนวก ข

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (บางส่วน)

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
jpeg, ExtCtrls, StdCtrls;
```

```
type
```

```
TMainMenu = class(TForm)
```

```
Image1: TImage;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Image2: TImage;
```

```
Memo1: TMemo;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Timer1: TTimer;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Timer2: TTimer;
```

```
procedure Label1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Label2Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Label3Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Label4Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Label1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,  
Y: Integer);
```

```
procedure Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,  
Y: Integer);
```

```
procedure Label5MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```

    Y: Integer);
procedure Label5Click(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
procedure Label6MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
procedure Label7MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
procedure Label6Click(Sender: TObject);
procedure Label7Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Mainmenu: TMainmenu;
    go,i : integer;
    select1,select2,select3,select4,select5 : boolean;

implementation

uses Unit2, Unit3, Unit90, Unit93, Unit106;

{$R *.DFM}

procedure TMainmenu.Label1Click(Sender: TObject);

begin
    Memo1.Visible := true;
    Image2.Visible := false;
    go := 1;
    select1 := true;
    select2 := false;
    select3 := false;
    label6.Visible:=false;
    label7.Visible:=false;

```


end;

procedure TMainmenu.Label2Click(Sender: TObject);

begin

 Memo1.Visible := false;

 Image2.Visible := true;

 go := 2;

 select1 := false;

 select2 := true;

 select3 := false;

 label6.Visible:=false;

 label7.Visible:=false;

end;

procedure TMainmenu.Label3Click(Sender: TObject);

begin

 Mainmenu.Hide;

 if go = 1 then

 Typemenu.show;

 if go = 2 then

 Doublepipemenu.Show;

 if go = 4 then

 Shellsidedatainput.show;

 if go = 3 then

 ShellIntubeTheoryMenu.show;

end;

procedure TMainmenu.Label4Click(Sender: TObject);

begin

 Mainmenu.close;

end;

procedure TMainmenu.Label1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,

 Y: Integer);

begin

```

if (select2 = false) and (select3 = false) then begin
    label1.Transparent:=false;
    label2.Transparent:=true;
    label5.Transparent:=true;

                                end;

end;

procedure TMainmenu.Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);
begin
    if (select1 = false) and (select3 = false) then begin
        label1.Transparent:=true;
        label2.Transparent:=false;
        label5.Transparent:=true;

                                end;

end;

procedure TMainmenu.Label5MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);
begin
    if (select1 = false) and (select2 = false) then begin
        label1.Transparent:=true;
        label2.Transparent:=true;
        label5.Transparent:=false;

                                end;

end;

procedure TMainmenu.Label5Click(Sender: TObject);
begin
    select1 := false;
    select2 := false;
    select3 := true;
    select4 := false;
    select5 := false;
    go := 3;
    image2.Visible:=false;
    memo1.Visible:=false;
    label6.Caption:='';
    label6.Font.Color:=clblack;

```

```

label7.Caption:="";
label7.Font.Color:=clblack;
timer1.Enabled:=true;
label6.Height:=0;
label6.Visible:=true;
label7.Height:=0;
label7.Visible:=true;

```

```
end;
```

```
procedure TMainmenu.Timer1Timer(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  i:=i+11;
```

```
  label6.Height:=i;
```

```
  if i = 33 then begin
```

```
    label6.Caption:="Theory";
```

```
    i:=0;
```

```
    timer1.Enabled:=false;
```

```
    timer2.Enabled:=true;
```

```
  end;
```

```
end;
```

```
procedure TMainmenu.Timer2Timer(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  i:=i+11;
```

```
  label7.Height:=i;
```

```
  if i = 33 then begin
```

```
    label7.Caption:="Calculation";
```

```
    i:=0;
```

```
    timer2.Enabled:=false;
```

```
  end;
```

```
end;
```

```
procedure TMainmenu.Label6MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  if (select4=false) and (select5=false) then begin
```

```
    label6.Font.Color:=clblue;
```

```

    label7.Font.Color:=clblack;
                                end;
end;

procedure TMainmenu.Label7MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    if (select4=false) and (select5=false) then begin
        label6.Font.Color:=clblack;
        label7.Font.Color:=clblue;
                                end;
end;

procedure TMainmenu.Label6Click(Sender: TObject);
begin
    go := 3;
    select4 := true;
    select5 := false;
    label6.Font.Color:=clblue;
    label7.Font.Color:=clblack;
end;

procedure TMainmenu.Label7Click(Sender: TObject);
begin
    go := 4;
    select4 := false;
    select5 := true;
    label6.Font.Color:=clblack;
    label7.Font.Color:=clblue;
end;

end.

unit Unit85;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

```

StdCtrls, ExtCtrls, jpeg;

type

Ttotalheatrate = class(TForm)

Label1: TLabel;

Image1: TImage;

Image2: TImage;

Label3: TLabel;

Memo1: TMemo;

Memo2: TMemo;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Image3: TImage;

procedure Label1Click(Sender: TObject);

procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

procedure Image1Click(Sender: TObject);

procedure FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

procedure Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

procedure Image2Click(Sender: TObject);

procedure Label5Click(Sender: TObject);

procedure Label6Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

totalheatrate: Ttotalheatrate;

expression:string;

implementation

uses Unit3, Unit86, Unit87;

{ \$R *.DFM }

```
procedure Ttotalheatrate.Label1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    totalheatrate.Hide;
```

```
    Doublepipemenu.show;
```

```
end;
```

```
procedure Ttotalheatrate.Image1MouseMove(Sender: TObject;
```

```
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    if ((x>20)and(x<50))and((y>0)and(y<77)) then begin
```

```
        image1.Cursor:=crHandPoint;
```

```
        expression:='Q';
```

```
    end else
```

```
    if ((x>120)and(x<140))and((y>0)and(y<77)) then begin
```

```
        image1.Cursor:=crHandpoint;
```

```
        expression:='U';
```

```
    end else
```

```
    if ((x>145)and(x<180))and((y>0)and(y<77)) then begin
```

```
        image1.Cursor:=crHandpoint;
```

```
        expression:='A';
```

```
    end else
```

```
    if ((x>185)and(x<255))and((y>0)and(y<77)) then begin
```

```
        image1.Cursor:=crHandpoint;
```

```
        expression:='deltaTLM';
```

```
    end else
```

```
    image1.Cursor:=crDefault;
```

```
end;
```

```
procedure Ttotalheatrate.Image1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if expression='Q' then begin
```

```
        memo2.Lines[0]:='Total rate of heat transfer';
```

```
        memo2.Lines[1]:='Unit is W(watt)';
```

```
    end;
```

```
    if expression='U' then begin
```

```
        memo2.Lines[0]:='Overall heat transfer coefficient';
```

```
        memo2.Lines[1]:='Unit is W/(m2K)';
```



```

        end;
    if expression='A' then begin
        memo2.Lines[0]:='Surface area';
        memo2.Lines[1]:='Unit is m2';
        end;
    if expression='deltaTLM' then begin
        memo2.Lines[0]:='Log mean temperature difference ';
        memo2.Lines[1]:='Unit is K';
        end;
end;

procedure Ttotalheatrate.FormMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
X, Y: Integer);
begin
    totalheatrate.Cursor:=crDefault;
end;

procedure Ttotalheatrate.Image2MouseMove(Sender: TObject;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    if ((x>0)and(x<40))and((y>0)and(y<77)) then begin
        image2.Cursor:=crHandpoint;
        expression:='Q';
        end else
        if ((x>120)and(x<160))and((y>0)and(y<77)) then begin
            image2.Cursor:=crHandpoint;
            expression:='Cpc';
            end else
            if ((x>70)and(x<115))and((y>0)and(y<77)) then begin
                image2.Cursor:=crHandpoint;
                expression:='Mc';
                end else
                if ((x>180)and(x<205))and((y>0)and(y<77)) then begin
                    image2.Cursor:=crHandpoint;
                    expression:='Tcout';
                    end else
                    if ((x>285)and(x<310))and((y>0)and(y<77)) then begin
                        image2.Cursor:=crHandpoint;
                        expression:='Tcin';

```

```

                                end else
if ((x>395)and(x<430))and((y>0)and(y<77)) then begin
image2.Cursor:=crHandpoint;
expression:='Mh';

                                end else
if ((x>440)and(x<470))and((y>0)and(y<77)) then begin
image2.Cursor:=crHandpoint;
expression:='Cph';

                                end else
if ((x>500)and(x<530))and((y>0)and(y<77)) then begin
image2.Cursor:=crHandpoint;
expression:='Thin';

                                end else
if ((x>590)and(x<620))and((y>0)and(y<77)) then begin
image2.Cursor:=crHandpoint;
expression:='Thout';

                                end else
image2.Cursor:=crDefault;
end;

procedure Ttotalheatrate.Image2Click(Sender: TObject);
begin
if expression='Q' then begin
memo2.Lines[0]:='Total rate of heat transfer';
memo2.Lines[1]:='Unit is W(watt)';
end;
if expression='Cpc' then begin
memo2.Lines[0]:='Specific heat capacity of the cold fluid';
memo2.Lines[1]:='Unit is j/(kg K)';
end;
if expression='Mc' then begin
memo2.Lines[0]:='Mass flow rate of the cold fluid';
memo2.Lines[1]:='Unit is kg/s';
end;
if expression='Tcout' then begin
memo2.Lines[0]:='Outlet temperature of cold fluid';
memo2.Lines[1]:='Unit is K';
end;
if expression='Tcin' then begin

```

```

memo2.Lines[0]:='Inlet temperature of cold fluid';
memo2.Lines[1]:='Unit is K';
    end;
if expression='Mh' then begin
    memo2.Lines[0]:='Mass flow rate of the hot fluid';
    memo2.Lines[1]:='Unit is kg/s';
    end;
if expression='Cph' then begin
    memo2.Lines[0]:='Specific heat capacity of the hot fluid';
    memo2.Lines[1]:='Unit is j/(kg K)';
    end;
if expression='Thin' then begin
    memo2.Lines[0]:='Inlet temperature of hot fluid';
    memo2.Lines[1]:='Unit is K';
    end;
if expression='Thout' then begin
    memo2.Lines[0]:='Outlet temperature of hot fluid';
    memo2.Lines[1]:='Unit is K';
    end;
end;

procedure Ttotalheatrate.Label5Click(Sender: TObject);
begin
    totalheatrate.Hide;
    UandLMTD.show;
end;

procedure Ttotalheatrate.Label6Click(Sender: TObject);
begin
    tempposition.showmodal;
end;

end.

unit Unit6;

interface

```

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type

TDoublepipeDatainput = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Edit12: TEdit;

Edit13: TEdit;

Edit14: TEdit;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Edit15: TEdit;

Edit16: TEdit;



```

Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Edit21: TEdit;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;
Edit22: TEdit;
Image1: TImage;
Image2: TImage;
Label1: TLabel;
Label10: TLabel;
Label26: TLabel;
Label31: TLabel;
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Label5Click(Sender: TObject);
procedure Edit8Change(Sender: TObject);
procedure Edit9Change(Sender: TObject);
procedure Edit10Change(Sender: TObject);
procedure Edit11Change(Sender: TObject);
procedure Label18Click(Sender: TObject);
procedure Edit15Change(Sender: TObject);
procedure Edit16Change(Sender: TObject);
procedure Edit17Change(Sender: TObject);
procedure Edit18Change(Sender: TObject);
procedure Label27Click(Sender: TObject);
procedure Label29Click(Sender: TObject);
procedure Label28Click(Sender: TObject);

```

```

procedure Edit22Change(Sender: TObject);
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label10Click(Sender: TObject);
procedure Label26Click(Sender: TObject);
procedure Label31Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
const
  pie = 3.14159;

var
  DoublepipeDatainput: TDoublepipeDatainput;
  D2,D1,Ds,Dei,Si,Deo,So,RhoC,Cpc,CondC,ViscC:real;
  kivisC,ThdiffC,Prc,RhoH,Cph,CondH,ViscH :real;
  kivisH,ThdiffH,Prh,ThCondWall:real;
  Datalinkof:string;
implementation

uses Unit3, Unit7, Unit9, Unit10;

{$R *.DFM}
procedure TDoublepipeDatainput.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
  if edit1.Text <> '' then
    D2 := strtocfloat(edit1.text);

end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit2Change(Sender: TObject);
begin
  if edit2.Text <> '' then
    D1 := strtocfloat(edit2.text);

end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit3Change(Sender: TObject);

```



```

begin
    if edit3.Text <> "" then
        Ds := strtfloat(edit3.text);

end;

procedure TDoublepipeDatainput.Label5Click(Sender: TObject);
begin
    Si := (pie/4)*D2*D2;
    Dei:= D2;
    So := (pie/4)*((Ds*Dd)-(D1*D1));
    Deo:=Ds-D1;
    edit4.Text:=floattostr(Si);
    edit5.Text:=floattostr(Dei);
    edit6.Text:=floattostr(So);
    edit7.Text:=floattostr(Deo);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit8Change(Sender: TObject);
begin
    if edit8.Text <> "" then
        RhoC := strtfloat(edit8.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit9Change(Sender: TObject);
begin
    if edit9.Text <> "" then
        Cpc := strtfloat(edit9.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit10Change(Sender: TObject);
begin
    if edit10.Text <> "" then
        CondC := strtfloat(edit10.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit11Change(Sender: TObject);
begin
    if edit11.Text <> "" then

```

```

ViscC := strtfloat(edit11.text);

end;

procedure TDoublepipeDatainput.Label18Click(Sender: TObject);
begin
    kivisC := ViscC/RhoC;
    ThdiffC:= CondC/(RhoC*Cpc);
    Prc := kivisC/ThdiffC;
    edit12.text := floattostr(kivisC);
    edit13.text := floattostr(ThdiffC);
    edit14.text := floattostr(Prc);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit15Change(Sender: TObject);
begin
    if edit15.Text <> '' then
        RhoH := strtfloat(edit15.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit16Change(Sender: TObject);
begin
    if edit16.text <> '' then
        Cph := strtfloat(edit16.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit17Change(Sender: TObject);
begin
    if edit17.Text <> '' then
        CondH := strtfloat(edit17.text);
end;

procedure TDoublepipeDatainput.Edit18Change(Sender: TObject);
begin
    if edit18.Text <> '' then
        ViscH := strtfloat(edit18.text);
end;

```

```

procedure TDoublepipeDatainput.Label27Click(Sender: TObject);
begin
    kivisH := ViscH/RhoH;
    ThdiffH:= CondH/(RhoH*Cph);
    Prh := kivisH/ThdiffH;
    edit19.Text:=floattostr(kivisH);
    edit20.Text:=floattostr(ThdiffH);
    edit21.Text:=floattostr(Prh);
end;

```

```

procedure TDoublepipeDatainput.Label29Click(Sender: TObject);
begin
    DoublepipeDatainput.Hide;
    Doublepipemenu.show;
end;

```

```

procedure TDoublepipeDatainput.Label28Click(Sender: TObject);
begin
    DoublepipeDatainput.Hide;
    if nextto = 'SingleUnit' then
        SingleUnit.show;
    if nextto = 'MultipleUnit' then
        MultipleUnit.show;
end;

```

```

procedure TDoublepipeDatainput.Edit22Change(Sender: TObject);
begin
    if edit22.Text <> '' then
        ThCondWall := strtfloat(edit22.text);
end;

```

```

procedure TDoublepipeDatainput.Label1Click(Sender: TObject);
begin
    DoublepipeDatainput.Visible:=false;
    PropertyTable.visible:=true;
    Datalinkof := 'Cold';
end;

```

```
procedure TDoublepipeDatainput.Label110Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    edit8.Text:=floattostr(RhoC);
```

```
    edit9.Text:=floattostr(Cpc);
```

```
    edit11.Text:=floattostr(ViscC);
```

```
    edit10.Text:=floattostr(CondC);
```

```
end;
```

```
procedure TDoublepipeDatainput.Label126Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    DoublepipeDatainput.Visible:=false;
```

```
    PropertyTable.visible:=true;
```

```
    Datalinkof := 'Hot';
```

```
end;
```

```
procedure TDoublepipeDatainput.Label131Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    edit15.Text:=floattostr(RhoH);
```

```
    edit16.Text:=floattostr(Cph);
```

```
    edit18.Text:=floattostr(ViscH);
```

```
    edit17.Text:=floattostr(CondH);
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit10;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
    StdCtrls, Mask, DBCtrls, Db, DBTables, Grids, DBGrids, jpeg, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
    TPropertyTable = class(TForm)
```

```
        DBGrid1: TDBGrid;
```

```
        DataSource1: TDataSource;
```

```
        Table1: TTable;
```

```

Table2: TTable;
DataSource2: TDataSource;
DBLookupComboBox1: TDBLookupComboBox;
Table3: TTable;
DataSource3: TDataSource;
DBEdit1: TDBEdit;
DBEdit2: TDBEdit;
DBEdit3: TDBEdit;
DBEdit4: TDBEdit;
Label1: TLabel;
Table4: TTable;
DataSource4: TDataSource;
Table5: TTable;
DataSource5: TDataSource;
Table6: TTable;
DataSource6: TDataSource;
Table7: TTable;
DataSource7: TDataSource;
Table8: TTable;
DataSource8: TDataSource;
Table9: TTable;
DataSource9: TDataSource;
Table10: TTable;
DataSource10: TDataSource;
Table11: TTable;
DataSource11: TDataSource;
Label2: TLabel;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    PropertyTable: TPropertyTable;

```

implementation

uses Unit6;

{ \$R *.DFM }

procedure TPropertyTable.Label1Click(Sender: TObject);

begin

PropertyTable.Visible:=false;

DoublepipeDatainput.visible:=true;

if Datalinkof = 'Cold' then begin

RhoC := strtoint(DBedit1.text);

Cpc := (strtoint(DBedit2.text))*1000;

ViscC := (strtoint(DBedit3.text))/1000000;

CondC := (strtoint(DBedit4.text))/1000;

DoublepipeDatainput.Label10.Enabled:=true;

end;

if Datalinkof = 'Hot' then begin

RhoH := strtoint(DBedit1.text);

Cph := (strtoint(DBedit2.text))*1000;

ViscH := (strtoint(DBedit3.text))/1000000;

CondH := (strtoint(DBedit4.text))/1000;

DoublepipeDatainput.Label131.Enabled:=true;

end;

end;

procedure TPropertyTable.Label2Click(Sender: TObject);

begin

if DBlookupcombobox1.KeyValue='Water' then begin

DBgrid1.DataSource:=datasource1;

DBedit1.DataSource:=datasource1;

DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

DBedit2.DataSource:=datasource1;

DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';


```

DBedit3.DataSource:=datasource1;
DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

DBedit4.DataSource:=datasource1;
DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Refrigerant12' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource2;

    DBedit1.DataSource:=datasource2;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource2;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource2;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource2;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Air' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource4;

    DBedit1.DataSource:=datasource4;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource4;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource4;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';
    DBedit4.DataSource:=datasource4;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Ammonia' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource5;

    DBedit1.DataSource:=datasource5;

```

```

DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

DBedit2.DataSource:=datasource5;
DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

DBedit3.DataSource:=datasource5;
DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

DBedit4.DataSource:=datasource5;
DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Ethane' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource6;

    DBedit1.DataSource:=datasource6;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource6;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource6;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource6;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Ethanol' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource7;

    DBedit1.DataSource:=datasource7;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource7;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource7;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource7;

```

```

DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
        end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Hydrogen' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource8;

    DBedit1.DataSource:=datasource8;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource8;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource8;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource8;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
        end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Methane' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource9;

    DBedit1.DataSource:=datasource9;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource9;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource9;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource9;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
        end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Methanol' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource10;

    DBedit1.DataSource:=datasource10;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource10;

```

```

DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

DBedit3.DataSource:=datasource10;
DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

DBedit4.DataSource:=datasource10;
DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
    end;
if DBlookupcombobox1.KeyValue='Nitrogen' then begin
    DBgrid1.DataSource:=datasource11;

    DBedit1.DataSource:=datasource11;
    DBedit1.DataField:='Density (kg/m3)';

    DBedit2.DataSource:=datasource11;
    DBedit2.DataField:='Specific heat (kJ/kg K)';

    DBedit3.DataSource:=datasource11;
    DBedit3.DataField:='Viscosity (uN s/m2)';

    DBedit4.DataSource:=datasource11;
    DBedit4.DataField:='Conductivity (mW m2/K m)';
        end;
end;

end.

unit Unit7;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Math, jpeg, ExtCtrls;

type
    TSingleUnit = class(TForm)
        Label2: TLabel;

```

Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Calculation: TLabel;
Label25: TLabel;
Label26: TLabel;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Label31: TLabel;



```

Label32: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Label37: TLabel;
Label38: TLabel;
Label39: TLabel;
Label40: TLabel;
Label41: TLabel;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Label42: TLabel;
Image1: TImage;
Image2: TImage;
Image3: TImage;
Image4: TImage;
Image5: TImage;
Image6: TImage;
Image7: TImage;
Image8: TImage;
Image9: TImage;
Label11: TLabel;
Edit21: TEdit;
Label24: TLabel;
Edit22: TEdit;
procedure Label6Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);

```



```

procedure Label10Click(Sender: TObject);
procedure Label11Click(Sender: TObject);
procedure Label13Click(Sender: TObject);
procedure Label14Click(Sender: TObject);
procedure Label16Click(Sender: TObject);
procedure Label17Click(Sender: TObject);
procedure Label18Click(Sender: TObject);
procedure Label19Click(Sender: TObject);
procedure Label20Click(Sender: TObject);
procedure Label9Click(Sender: TObject);
procedure Label21Click(Sender: TObject);
procedure Label22Click(Sender: TObject);
procedure Label23Click(Sender: TObject);
procedure CalculationClick(Sender: TObject);
procedure Label42Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  SingleUnit: TSingleUnit;
  Tcin, Tcout, Thin, Thout, mc, mh: real;
  kase: integer;
  flow, temp, FluidinInnerTube: string;
  Vc, Rec, Nuc, HtrcoeffC, Vh, Reh, Nuh, HtrcoeffH: real;
  U, term1, term2, term3, P, R, A, L, Pdrop, f0: real;

implementation

uses Unit6, Unit8;

{$R *.DFM}

procedure TSingleUnit.Label6Click(Sender: TObject);
begin
  SingleUnit.Hide;
  DoublepipeDatainput.show;

```

end;

procedure TSingleUnit.Edit1Change(Sender: TObject);

begin

if edit1.Text <> '' then

Tcin := strtoint(edit1.text);

end;

procedure TSingleUnit.Edit2Change(Sender: TObject);

begin

if edit2.Text <> '' then

Tcout := strtoint(edit2.text);

end;

procedure TSingleUnit.Edit3Change(Sender: TObject);

begin

if edit3.Text <> '' then

Thin := strtoint(edit3.text);

end;

procedure TSingleUnit.Edit4Change(Sender: TObject);

begin

if edit4.Text <> '' then

Thout := strtoint(edit4.text);

end;

procedure TSingleUnit.Edit5Change(Sender: TObject);

begin

if edit5.Text <> '' then

mc := strtoint(edit5.text);

end;

procedure TSingleUnit.Edit6Change(Sender: TObject);

begin

if edit6.Text <> '' then

mh := strtoint(edit6.text);

end;

procedure TSingleUnit.Label10Click(Sender: TObject);

```
begin
```

```
    label112.Visible:=true;
```

```
    label113.Visible:=true;
```

```
    label114.Visible:=true;
```

```
    kase := 1;
```

```
    label115.Visible:=false;
```

```
    label116.Visible:=false;
```

```
    label117.Visible:=false;
```

```
    label118.Visible:=false;
```

```
    label119.Visible:=false;
```

```
    image2.Visible:=false;
```

```
    image3.Visible:=false;
```

```
    image4.Visible:=false;
```

```
    image5.Visible:=false;
```

```
    image6.Visible:=false;
```

```
    image7.Visible:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TSingleUnit.Label111Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    kase := 2;
```

```
    label115.Visible:=true;
```

```
    label116.Visible:=true;
```

```
    label117.Visible:=true;
```

```
    label118.Visible:=true;
```

```
    label119.Visible:=true;
```

```
    label112.Visible:=false;
```

```
    label113.Visible:=false;
```

```
    label114.Visible:=false;
```

```
    image2.Visible:=false;
```

```
    image3.Visible:=false;
```

```
    image4.Visible:=false;
```

```
    image5.Visible:=false;
```

```

    image6.Visible:=false;
    image7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label13Click(Sender: TObject);
begin
    flow := 'cold';
    image2.Visible:=true;
    image3.Visible:=false;
    image4.Visible:=false;
    image5.Visible:=false;
    image6.Visible:=false;
    image7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label14Click(Sender: TObject);
begin
    flow := 'hot';
    image2.Visible:=false;
    image3.Visible:=true;
    image4.Visible:=false;
    image5.Visible:=false;
    image6.Visible:=false;
    image7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label16Click(Sender: TObject);
begin
    temp := 'coldin';
    image2.Visible:=false;
    image3.Visible:=false;
    image4.Visible:=true;
    image5.Visible:=false;
    image6.Visible:=false;
    image7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label17Click(Sender: TObject);
begin

```

```

temp := 'coldout';
image2.Visible:=false;
image3.Visible:=false;
image4.Visible:=false;
image5.Visible:=true;
image6.Visible:=false;
image7.Visible:=false;

end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label18Click(Sender: TObject);
begin
    temp := 'hotin';
    image2.Visible:=false;
    image3.Visible:=false;
    image4.Visible:=false;
    image5.Visible:=false;
    image6.Visible:=true;
    image7.Visible:=false;

end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label19Click(Sender: TObject);
begin
    temp := 'hotout';
    image2.Visible:=false;
    image3.Visible:=false;
    image4.Visible:=false;
    image5.Visible:=false;
    image6.Visible:=false;
    image7.Visible:=true;

end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label20Click(Sender: TObject);
begin
    if kase = 1 then begin
        edit1.Visible:=true;
        edit1.Text:='';
        edit2.Visible:=true;
        edit2.Text:='';
        edit3.Visible:=true;

```

```

edit3.Text:="";
edit4.Visible:=true;
edit4.Text:="";
if flow = 'cold' then begin
    edit5.Visible:=false;
    edit6.Visible:=true;
    edit6.Text:="";
end;
if flow = 'hot' then begin
    edit6.Visible:=false;
    edit5.Visible:=true;
    edit5.Text:="";
end;
end;
if kase = 2 then begin
    edit5.Visible:=true;
    edit5.Text:="";
    edit6.Visible:=true;
    edit6.Text:="";
    if temp = 'coldin' then begin
        edit2.Visible:=true;
        edit2.Text:="";
        edit3.Visible:=true;
        edit3.Text:="";
        edit4.Visible:=true;
        edit4.Text:="";
        edit1.Visible:=false;
    end;
    if temp = 'coldout' then begin
        edit1.Visible:=true;
        edit1.Text:="";
        edit3.Visible:=true;
        edit3.Text:="";
        edit4.Visible:=true;
        edit4.Text:="";
        edit2.Visible:=false;
    end;
    if temp = 'hotin' then begin
        edit1.Visible:=true;

```



```

edit1.Text:='';
edit2.Visible:=true;
edit2.Text:='';
edit4.Visible:=true;
edit4.Text:='';
edit3.Visible:=false;
end;

if temp = 'hotout' then begin
edit1.Visible:=true;
edit1.Text:='';
edit2.Visible:=true;
edit2.Text:='';
edit3.Visible:=true;
edit3.Text:='';
edit4.Visible:=false;
end;
end;

end;

procedure TSingleUnit.Label9Click(Sender: TObject);
begin
if (kase = 1) and ( flow = 'cold') then begin
mc := (mh*Cph/Cpc)*((Thin-Thout)/(Tcout-Tcin));
edit5.Visible:=true;
edit5.Text:=floattostr(mc);
end;

if (kase = 1) and ( flow = 'hot') then begin
mh := (mc*Cpc/Cph)*((Tcout-Tcin)/(Thin-Thout));
edit6.Visible:=true;
edit6.Text:=floattostr(mh);
end;

if (kase = 2) and ( temp = 'coldin') then begin
Tcin := Tcout-((mh*Cph/(mc*Cpc))*(Thin-Thout));
edit1.Visible:=true;
edit1.Text:=floattostr(Tcin);
end;

if (kase = 2) and ( temp = 'coldout') then begin
Tcout := Tcin+((mh*Cph/(mc*Cpc))*(Thin-Thout));
edit2.Visible:=true;

```

```

edit2.Text:=floattostr(Tcout);
                                end;
if (kase = 2) and ( temp = 'hotin') then begin
    Thin := Thout+((mc*Cpc/(mh*Cph))*(Tcout-Tcin)) ;
    edit3.Visible:=true;
    edit3.Text:=floattostr(Thin);
                                end;
if (kase = 2) and ( temp = 'hotout') then begin
    Thout := Thin-((mc*Cpc/(mh*Cph))*(Tcout-Tcin)) ;
    edit4.Visible:=true;
    edit4.Text:=floattostr(Thout);
                                end;

end;

procedure TSingleUnit.Label21Click(Sender: TObject);
begin
    label22.Visible:=true;
    label23.Visible:=true;

    image8.Visible:=false;
    image9.Visible:=false;
end;

procedure TSingleUnit.Label22Click(Sender: TObject);
begin
    FluidinInnerTube := 'hotfluid';
    image8.Visible:=true;
    image9.Visible:=false;
end;

procedure TSingleUnit.Label23Click(Sender: TObject);
begin
    FluidinInnerTube := 'coldfluid';
    image8.Visible:=false;
    image9.Visible:=true;
end;

procedure TSingleUnit.CalculationClick(Sender: TObject);

```

```

begin
  if FluidinInnerTube = 'coldfluid' then begin

    Vc := mc/(Si*RhoC);
    Rec:= Vc*Dei/kivisC;
    Nuc:= 0.023*(power(Rec,0.8))*(power(Prc,0.4));
    HtrcoeffC := Nuc*CondC/Dei;

    Vh := mh/(So*RhoH);
    Reh:= Vh*Deo/kivisH;
    Nuh:= 0.023*(power(Reh,0.8))*(power(Prh,0.4));
    HtrcoeffH := Nuh*CondH/Deo;

    if (Rec <= 2100) then begin
      f0 := Rec/16
    end;
    if (Rec > 2100) and (Rec <= 20000) then begin
      f0 := 0.079*(power(Rec,-0.25));
    end;
    if (Rec > 20000) then begin
      f0 := 0.046*(power(Rec,-0.2));
    end;

  if FluidinInnerTube = 'hotfluid' then begin

    Vc := mc/(So*RhoC);
    Rec:= Vc*Deo/kivisC;
    Nuc:= 0.023*(power(Rec,0.8))*(power(Prc,0.4));
    HtrcoeffC := Nuc*CondC/Deo;

    Vh := mh/(Si*RhoH);
    Reh:= Vh*Dei/kivisH;
    Nuh:= 0.023*(power(Reh,0.8))*(power(Prh,0.4));
    HtrcoeffH := Nuh*CondH/Dei;

    if (Reh <= 2100) then begin
      f0 := Reh/16
    end;

```

```

if (Reh > 2100) and (Reh <= 20000) then begin
    f0 := 0.079*(power(Reh,-0.25));
    end;
if (Reh > 20000) then begin
    f0 := 0.046*(power(Reh,-0.2));
    end;
    end;

term1 := 1/HtrcoeffC;
term2 := (D1/(2*ThCondWall))*ln(D1/D2);
term3 := (1/HtrcoeffH)*(D1/D2);
U := 1/(term1+term2+term3);

P := (Tcout-Tcin)/(Thin-Tcin);
R := (Thin-Thout)/(Tcout-Tcin);
if (R<>1) and (P<>1) and ((P*R)<>1) then begin
    A := (mc*Cpc/U)*ln((1-P)/(1-(P*R)))/(R-1);
    L := A/(3.14*D1);
    if FluidinInnerTube = 'coldfluid' then begin
        Pdrop := 4*f0*L*RhoC*power(Vc,2)/(2*D2);
        end;
    if FluidinInnerTube = 'hotfluid' then begin
        Pdrop := 4*f0*L*RhoH*power(Vh,2)/(2*D2);
        end;
    end else
MessageDlg('Error divided by zero P and R and PR not equal to one check temperature again'
,mtError,[mbOk],0);

edit7.Text := floattostr(Vc);
edit8.Text := floattostr(Rec);
edit9.Text := floattostr(Prc);
edit10.Text:= floattostr(Nuc);
edit11.Text:= floattostr(HtrcoeffC);

edit12.Text:= floattostr(Vh);
edit13.Text:= floattostr(Reh);
edit14.Text:= floattostr(Prh);
edit15.Text:= floattostr(Nuc);
edit16.Text:= floattostr(HtrcoeffH);

```

```

edit17.Text:= floattostr(U);
edit18.Text:= floattostr(P);
edit19.Text:= floattostr(R);
edit20.Text:= floattostr(A);
edit21.Text:= floattostr(L);
edit22.Text:= floattostr(Pdrop);

```

```

end;

```

```

procedure TSingleUnit.Label42Click(Sender: TObject);

```

```

begin

```

```

    SingleUnit.Hide;

```

```

    Performance.show;

```

```

end;

```

```

end.

```

```

unit Unit8;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,

```

```

    StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

```

```

type

```

```

    TPerformance = class(TForm)

```

```

    Label1: TLabel;

```

```

    Label2: TLabel;

```

```

    Label3: TLabel;

```

```

    Label4: TLabel;

```

```

    Label5: TLabel;

```

```

    Label6: TLabel;

```

```

    Edit1: TEdit;

```

```

    Edit2: TEdit;

```

```

    Label7: TLabel;

```

```

Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Image1: TImage;
Image2: TImage;
Image3: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2Click(Sender: TObject);
procedure Label3Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Label6Click(Sender: TObject);
procedure Label15Click(Sender: TObject);
procedure Label14Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Performance: TPerformance;
  perfm:string;
  Aperf1,Lterm,Rterm,ExpRterm,R1,P1,Tcout1,Thout1:real;
  mc1,mh1:real;

implementation

```

```
uses Unit7,Unit6;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TPerformance.Label1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    label2.Visible:=true;
```

```
    label3.Visible:=true;
```

```
    image2.Visible:=false;
```

```
    image3.Visible:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TPerformance.Label2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    perfm := 'flow';
```

```
    image2.Visible:=true;
```

```
    image3.Visible:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TPerformance.Label3Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    perfm := 'temp';
```

```
    image2.Visible:=false;
```

```
    image3.Visible:=true;
```

```
end;
```

```
procedure TPerformance.Edit1Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit1.Text <> '' then
```

```
        Aperfm := strtoint(edit1.text);
```

```
end;
```

```
procedure TPerformance.Label6Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    edit1.Visible:=true;
```

```
    edit2.Visible:=true;
```

```
    edit2.Text := floattostr(U);
```

```
    if perfm = 'temp' then begin
```



```

edit3.Visible:=true;
edit3.Text:=floattostr(Tcin);
edit5.Visible:=true;
edit5.Text:=floattostr(Thin);
edit7.Visible:=true;
edit7.Text:=floattostr(mc);
edit8.Visible:=true;
edit8.Text:=floattostr(mh);

edit4.Visible:=false;
edit6.Visible:=false;
    end;
if perfm = 'flow' then begin
    edit3.Visible:=true;
    edit3.Text:=floattostr(Tcin);
    edit4.Visible:=true;
    edit4.Text:=floattostr(Tcout);
    edit5.Visible:=true;
    edit5.Text:=floattostr(Thin);
    edit6.Visible:=true;
    edit6.Text:=floattostr(Thout);

    edit7.Visible:=false;
    edit8.Visible:=false;
    end;
end;
procedure TPerformance.Label15Click(Sender: TObject);
begin
    Performance.Hide;
    SingleUnit.show;
end;

procedure TPerformance.Label14Click(Sender: TObject);
begin
    if perfm = 'temp' then begin
        Lterm := (mc*Cpc)/(U*Aperfm);
        R1 := (mc*Cpc)/(mh*Cph);
        Rterm := (R-1)/Lterm;
        ExpRterm := exp(Rterm);
    end;
end;

```

```

P1 := (1-ExpRterm)/(1-(ExpRterm*R1));

Tcout1 := Tcin +(P1*(Thin-Tcin));
Thout1 := Thin -(R1*(Tcout1-Tcin));

edit4.Visible:=true;
edit4.Text:=floattostr(Tcout1);
edit6.Visible:=true;
edit6.Text:=floattostr(Thout1);
    end;
if perfm = 'flow' then begin
    R1 := (Thin-Thout)/(Tcout-Tcin);
    P1 := (Tcout-Tcin)/(Thin-Tcin);
    Rterm := (R1-1)/ln((1-P1)/(1-(P1*R1)));

    mc1 := U*Aperfm*Rterm/Cpc;
    mh1 := (mc1*Cpc)/(R1*Cph);

    Edit7.Visible:=true;
    edit7.Text:=floattostr(mc1);
    edit8.Visible:=true;
    edit8.Text:=floattostr(mh1);
    end;
end;

end.

unit Unit9;

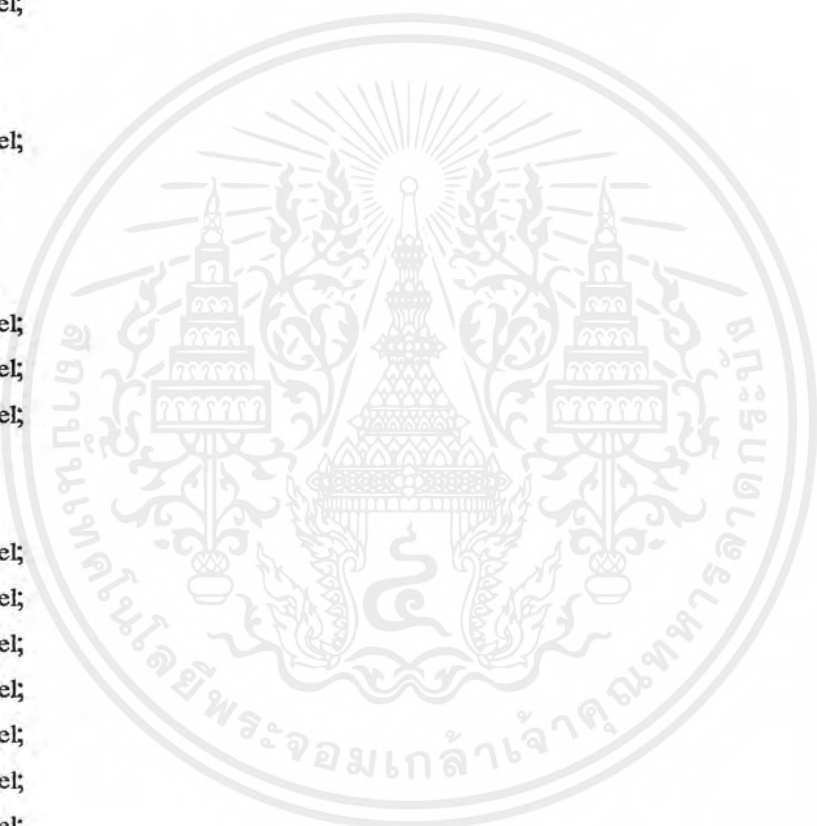
interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, Math, jpeg, ExtCtrls;

type
    TMultipleUnit = class(TForm)
        Label1: TLabel;

```

Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit5: TEdit;
Label13: TLabel;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Label27: TLabel;
Label28: TLabel;
Label29: TLabel;
Label30: TLabel;



```

Label31: TLabel;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Label32: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Edit21: TEdit;
Image1: TImage;
Image2: TImage;
Image3: TImage;
Label20: TLabel;
Label26: TLabel;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2Click(Sender: TObject);
procedure Label4Click(Sender: TObject);
procedure Label5Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Label13Click(Sender: TObject);
procedure Label15Click(Sender: TObject);
procedure Label16Click(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Label18Click(Sender: TObject);
procedure Label19Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }

```

```

public
  { Public declarations }
end;

var
  MultipleUnit: TMultipleUnit;
  parallel,serie,FluidinInnertube,flow9:string;
  Tcin9,Tcout9,Thin9,Thout9:real;
  Rcal,R9,P9,F9,Q9,U9,deltaTm,A9,mc9,mh9:real;
  PRcal,Pcal,term1_9,term2_9,term3_9:real;
  vc9,vccal,Rec9,Nuc9,HtrcoeffC9,vh9,vhcal,Reh9,Nuh9,HtrcoeffH9:real;
  term1,term2,term3:real;
  totalL9,L9,f09,Pdrop9:real;

  n:integer;
implementation

uses Unit6;

{$R *.DFM}

procedure TMultipleUnit.Label1Click(Sender: TObject);
begin
  MultipleUnit.Hide;
  DoublepipeDatainput.show;
end;

procedure TMultipleUnit.Label2Click(Sender: TObject);
begin
  label4.Visible:=true;
  label5.Visible:=true;
end;

procedure TMultipleUnit.Label4Click(Sender: TObject);
begin
  parallel := 'hot';
  serie := 'cold';

  label7.Visible:=true;

```

```

label5.Visible:=false;
label6.Visible:=false;

end;

procedure TMultipleUnit.Label5Click(Sender: TObject);
begin
    parallel := 'cold';
    serie := 'hot';

    label6.Visible:=true;
    label4.Visible:=false;
    label7.Visible:=false;

end;

procedure TMultipleUnit.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
    if edit1.Text <> '' then
        n := strtoint(edit1.text);
end;

procedure TMultipleUnit.Edit3Change(Sender: TObject);
begin
    if edit3.Text <> '' then
        Tcout9 := strtoint(edit3.text);
end;

procedure TMultipleUnit.Edit2Change(Sender: TObject);
begin
    if edit2.Text <> '' then
        Tcin9 := strtoint(edit2.text);
end;

procedure TMultipleUnit.Edit4Change(Sender: TObject);
begin
    if edit4.Text <> '' then
        Thin9 := strtoint(edit4.text);
end;

```

```
procedure TMultipleUnit.Edit5Change(Sender: TObject);
begin
```

```
    if edit5.Text <> '' then
```

```
        Thout9 := strtocfloat(edit5.text);
```

```
    end;
```

```
procedure TMultipleUnit.Label13Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    R9 := (Thin9-Thout9)/(Tcout9-Tcin9);
```

```
    P9 := (Tcout9-Tcin9)/(Thin9-Tcin9);
```

```
    if (parallel = 'cold') and (serie = 'hot') then begin
```

```
        Rcal := R9/n;
```

```
        PRcal := 1/(1-(P9*R9));
```

```
        term1_9 := (Rcal-1)/Rcal;
```

```
        term2_9 := power(PRcal,(1/n));
```

```
        term3_9 := 1/Rcal;
```

```
        F9 := (P9*(Rcal-1))/ln((term1_9*term2_9)+term3_9);
```

```
    if FluidinInnertube = 'cold' then begin
```

```
        label20.Caption:='Length per Unit (m)';
```

```
        vc9 := mc9/(Si*RhoC);
```

```
        vccal := vc9/n;
```

```
        Rec9 := vccal*Dei/kivisC;
```

```
        Nuc9 := 0.023*power(Rec9,0.8)*power(Prc,0.4);
```

```
        HtrcoefficientC9 := Nuc9*CondC/Dei;
```

```
        vh9 := mh9/(So*RhoH);
```

```
        Reh9 := vh9*Deo/kivisH;
```

```
        Nuh9 := 0.023*power(Reh9,0.8)*power(Prh,0.4);
```

```
        HtrcoefficientH9 := Nuh9*CondH/Deo;
```

```
    if (Rec9 <= 2100) then begin
```

```
        f09 := Rec9/16
```

```
    end;
```

```
    if (Rec9 > 2100) and (Rec9 <= 20000) then begin
```

```
        f09 := 0.079*(power(Rec9,-0.25));
```



```

        end;

    if (Rec9 > 20000) then begin
        f09 := 0.046*(power(Rec9,-0.2));
        end;

    end;

if FluidinInnertube = 'hot' then begin
    label20.Caption:="Total length (m)";
    vc9 := mc9/(So*RhoC);
    vccal := vc9/n;
    Rec9 := vccal*Deo/kivisC;
    Nuc9 := 0.023*power(Rec9,0.8)*power(PrC,0.4);
    HtrcoeffC9 := Nuc9*CondC/Deo;

    vh9 := mh9/(Si*RhoH);
    Reh9 := vh9*Dei/kivisH;
    Nuh9 := 0.023*power(Reh9,0.8)*power(Prh,0.4);
    HtrcoeffH9 := Nuh9*CondH/Dei;

    if (Reh9 <= 2100) then begin
        f09 := Reh9/16
        end;
    if (Reh9 > 2100) and (Reh9 <= 20000) then begin
        f09 := 0.079*(power(Reh9,-0.25));
        end;
    if (Reh9 > 20000) then begin
        f09 := 0.046*(power(Reh9,-0.2));
        end;

    end;

    edit8.Text := floattostr(vccal);
    edit13.Text:= floattostr(vh9);

    end;

if (parallel = 'hot') and (serie = 'cold') then begin
    Rcal := n*R9;
    Pcal := 1/(1-P9);
    term1_9 := 1-Rcal;

```

```
term2_9 := power(Pcal,(1/n));
F9 := (P9*(1-Rcal)/n)/ln((term1_9*term2_9)+Rcal);
```

```
if FluidinInnertube = 'cold' then begin
```

```
    label20.Caption:='Total length (m)';
```

```
    vc9 := mc9/(Si*RhoC);
```

```
    Rec9 := vc9*Dei/kivisC;
```

```
    Nuc9 := 0.023*power(Rec9,0.8)*power(Prc,0.4);
```

```
    HtrcoeffC9 := Nuc9*CondC/Dei;
```

```
    vh9 := mh9/(So*RhoH);
```

```
    vhal := vh9/n;
```

```
    Reh9 := vhal*Deo/kivisH;
```

```
    Nuh9 := 0.023*power(Reh9,0.8)*power(Prh,0.4);
```

```
    HtrcoeffH9 := Nuh9*CondH/Deo;
```

```
    if (Rec9 <= 2100) then begin
```

```
        f09 := Rec9/16
```

```
    end;
```

```
    if (Rec9 > 2100) and (Rec9 <= 20000) then begin
```

```
        f09 := 0.079*(power(Rec9,-0.25));
```

```
    end;
```

```
    if (Rec9 > 20000) then begin
```

```
        f09 := 0.046*(power(Rec9,-0.2));
```

```
    end;
```

```
end;
```

```
if FluidinInnertube = 'hot' then begin
```

```
    label20.Caption:='Length per unit (m)';
```

```
    vc9 := mc9/(So*RhoC);
```

```
    Rec9 := vc9*Deo/kivisC;
```

```
    Nuc9 := 0.023*power(Rec9,0.8)*power(Prc,0.4);
```

```
    HtrcoeffC9 := Nuc9*CondC/Deo;
```

```
    vh9 := mh9/(Si*RhoH);
```

```
    vhal := vh9/n;
```

```
    Reh9 := vhal*Dei/kivisH;
```

```
    Nuh9 := 0.023*power(Reh9,0.8)*power(Prh,0.4);
```

```

HtrcoeffH9 := Nuh9*CondH/Dei;

if (Reh9 <= 2100) then begin
    f09 := Reh9/16
    end;
if (Reh9 > 2100) and (Reh9 <= 20000) then begin
    f09 := 0.079*(power(Reh9,-0.25));
    end;
if (Reh9 > 20000) then begin
    f09 := 0.046*(power(Reh9,-0.2));
    end;

    end;
edit8.Text := floattostr(vc9);
edit13.Text := floattostr(vhcal);
    end;

term1 := 1/HtrcoeffC9;
term2 := (D1/(2*ThCondWall))*ln(D1/D2);
term3 := (D1/D2)*(1/HtrcoeffH9);
U9 := 1/(term1+term2+term3);

Q9 := mc9*Cpc*(Tcout9-Tcin9);
deltaTm := F9*(Thin9-Tcin9);
A9 := Q9/(U9*deltaTm);
totalL9 := A9/(3.14*D1);
L9 := totalL9/n;
if (parallel = 'cold') and (serie = 'hot') then begin
    if FluidinInnertube = 'cold' then
        Pdrop9 := 4*f09*L9*RhoC*power(vcca1,2)/(2*D2);
    if FluidinInnertube = 'hot' then
        Pdrop9 := 4*f09*totalL9*RhoH*power(vh9,2)/(2*D2);
    end;
if (parallel = 'hot') and (serie = 'cold') then begin
    if FluidinInnertube = 'cold' then
        Pdrop9 := 4*f09*totalL9*RhoC*power(vc9,2)/(2*D2);
    if FluidinInnertube = 'hot' then
        Pdrop9 := 4*f09*L9*RhoH*power(vhcal,2)/(2*D2);
    end;
edit9.Text := floattostr(Rec9);

```

```

edit14.Text:= floattostr(Reh9);
edit10.Text:= floattostr(Prc);
edit15.Text:= floattostr(Prh);
edit11.Text:= floattostr(Nuc9);
edit16.Text:= floattostr(Nuh9);
edit12.Text:= floattostr(HtrcoeffC9);
edit17.Text:= floattostr(HtrcoeffH9);
edit18.Text:= floattostr(F9);
edit19.Text:= floattostr(U9);
edit20.Text:= floattostr(Q9);
edit21.Text:= floattostr(A9);
if (parallel = 'cold') and (serie = 'hot') then begin
    if FluidinInnertube = 'cold' then
        edit22.Text:= floattostr(L9);
    if FluidinInnertube = 'hot' then
        edit22.Text:= floattostr(totalL9);
    end;
if (parallel = 'hot') and (serie = 'cold') then begin
    if FluidinInnertube = 'cold' then
        edit22.Text:= floattostr(totalL9);
    if FluidinInnertube = 'hot' then
        edit22.Text:= floattostr(L9);
    end;
    edit23.Text:= floattostr(Pdrop9);
end;

procedure TMultipleUnit.Label15Click(Sender: TObject);
begin
    flow9 := 'cold';
end;

procedure TMultipleUnit.Label16Click(Sender: TObject);
begin
    flow9 := 'hot';
end;

procedure TMultipleUnit.Edit6Change(Sender: TObject);
begin
    if edit6.Text <> '' then begin

```

```

    mc9 := strtocfloat(edit6.text);
        end;
end;

procedure TMultipleUnit.Edit7Change(Sender: TObject);
begin
    if edit7.Text <> '' then
        mh9 := strtocfloat(edit7.text);
end;

procedure TMultipleUnit.Label18Click(Sender: TObject);
begin
    FluidinInnertube := 'hot';
    image2.Visible:=true;
    image3.Visible:=false;
end;

procedure TMultipleUnit.Label19Click(Sender: TObject);
begin
    FluidinInnertube := 'cold';
    image3.Visible:=true;
    image2.Visible:=false;
end;

end.

unit Unit90;

interface

uses

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls, jpeg;

type

    TShellsidedatainput = class(TForm)
        Label1: TLabel;
        GroupBox1: TGroupBox;

```

Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
RadioGroup1: TRadioGroup;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Label19: TLabel;
Button1: TButton;
Label20: TLabel;
Edit18: TEdit;



```

Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label19Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit16Change(Sender: TObject);
procedure Edit13Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Shellsidedatainput: TShellsidedatainput;
  Ds90, DO90, Nt90, Pt90, NsspNc90:real;
  Delby90, Delsb90, Deltb90, Delpp90:real;
  Nbf90, tb90, Lb90, Bc90:real;
  mT90, Rhos90, Viscs90, Cps90, Tconds90:real;
  Layout90:string;
implementation

uses Unit1, Unit91;

{$R *.DFM}

procedure TShellsidedatainput.Label1Click(Sender: TObject);
begin
  Shellsidedatainput.Hide;
  Mainmenu.show;
end;

procedure TShellsidedatainput.Label19Click(Sender: TObject);
begin
  Shellsidedatainput.Hide;
  Shellside.show;
end;

```



```
procedure TShellsidedatainput.Button1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if radiogroup1.ItemIndex = 0 then
```

```
        Layout90:='Squ';
```

```
    if radiogroup1.ItemIndex = 1 then
```

```
        Layout90:='Tri';
```

```
    if radiogroup1.ItemIndex = 2 then
```

```
        Layout90:='Rottri';
```

```
    if radiogroup1.ItemIndex = 3 then
```

```
        Layout90:='Rotsqu';
```

```
    Ds90 := strtoint(edit1.text);
```

```
    D090 := strtoint(edit2.text);
```

```
    Pt90 := strtoint(edit4.text);
```

```
    NsspNc90 := strtoint(edit5.text);
```

```
    Delby90 := 0.5*strtoint(edit6.text);
```

```
    Delbs90 := 0.5*strtoint(edit7.text);
```

```
    Deltb90 := 0.5*strtoint(edit8.text);
```

```
    Delpp90 := 0.5*strtoint(edit9.text);
```

```
    Nbf90 := strtoint(edit18.text);
```

```
    tb90 := strtoint(edit10.text);
```

```
    Lb90 := strtoint(edit11.text);
```

```
    Bc90 := strtoint(edit12.text);
```

```
    mT90 := strtoint(edit13.text);
```

```
    Rhos90 := strtoint(edit14.text);
```

```
    Viscs90 := strtoint(edit15.text);
```

```
    Cps90 := strtoint(edit16.text);
```

```
    Tconds90 := strtoint(edit17.text);
```

```
end;
```

```
procedure TShellsidedatainput.Edit3Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Nt90 := strtoint(edit3.text);
```

```
end;
```

```
procedure TShellsidedatainput.Edit16Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Cps90:= strtofloat(edit16.text);
```

```
end;
```

```
procedure TShellsidedatainput.Edit13Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    mT90:=strtofloat(edit13.text);
```

```
end;
```

```
procedure TShellsidedatainput.Edit2Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit2.Text<>''then
```

```
        D090:=strtofloat(edit2.text);
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit91;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
    StdCtrls,math, jpeg, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
    TShellside = class(TForm)
```

```
    Label1: TLabel;
```

```
    GroupBox1: TGroupBox;
```

```
    GroupBox2: TGroupBox;
```

```
    Label2: TLabel;
```

```
    Label3: TLabel;
```

```
    Label4: TLabel;
```

```
    Label5: TLabel;
```

```
    Label6: TLabel;
```

```
    Label7: TLabel;
```

```
    Label8: TLabel;
```

Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
GroupBox3: TGroupBox;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Button3: TButton;
Button4: TButton;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
GroupBox4: TGroupBox;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;



```

Edit21: TEdit;
Edit22: TEdit;
Button5: TButton;
Label27: TLabel;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Label27Click(Sender: TObject);
procedure Edit10Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Shellside: TShellside;
  Ss,termns,ns:real;
  St,termnt,nt:real;
  Dotl,Sm,Lc,termSw,termFc,Fc,Sw1,Sw,nw:real;
  Deltaby,Sb,Ptp,Nc,Nss,a,nb:real;
  Fcrbegin,Reshell,Kf,nc91,ncb,na,np,termFcr1,termFcr2,Fcrcl:real;
  termKf1,termKf2,termKf3,termKf4:real;
  close91,Diff,Fcrend:real;
  exit:boolean;i:integer;
  Pdrop91,ShellPdrop,Prshell,ShellHtrcoef:real;

```

implementation

```
uses Unit90, Unit92;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```

procedure TShellside.Label1Click(Sender: TObject);
begin
  Shellside.Hide;
  Shellsidedatainput.show;

```

end;

procedure TShellside.Button5Click(Sender: TObject);

begin

Ss := 3.14*(Ds90-Delsb90)*Delsb90;

termns := tb90/Delsb90;

ns := ((0.036*termns)+(2.3*power(termns,-0.177)))/(2*Rhos90*power(Ss,2));

St := Nt90*3.14*(D090+Deltb90)*Deltb90;

termnt := tb90/Deltb90;

nt := ((0.036*termnt)+(2.3*power(termnt,-0.177)))/(2*Rhos90*power(St,2));

Dotl := Ds90-(Delby90*2);

if layout90='Squ' then begin

Sm := Lb90*(Ds90-Dotl+((Dotl-D090)*(Pt90-D090)/Pt90));

end;

if layout90='Rotsqu' then begin

Sm := Lb90*(Ds90-Dotl+((Dotl-D090)*(Pt90-D090)/(0.707*Pt90)));

end;

if layout90='Tri' then begin

Sm := Lb90*(Ds90-Dotl+((Dotl-D090)*(Pt90-D090)/Pt90));

end;

if layout90='Rottri' then begin

Sm := Lb90*(Ds90-Dotl+((Dotl-D090)*(Pt90-D090)/(0.5*Pt90)));

end;

Lc := Bc90*Ds90/100;

termSw := (Ds90-(2*Lc))/Ds90;

termFc := (Ds90-(2*Lc))/Dotl;

Fc := (1/3.14)*(3.14+(2*termFc*sin(arccos(termFc)))-(2*arccos(termFc)));

Sw1 := (Ds90*Ds90/4)*(arccos(termSw)-(termSw*power((1-power(termSw,2)),0.5)));

Sw := Sw1-((Nt90/8)*(1-Fc)*3.14*D090*D090);

nw := 1.9*(exp(0.6856*Sw/Sm))/(2*Rhos90*Sw*Sw);

Deltaby := Delby90;

Sb := ((2*Deltaby)+Delpp90)*Lb90;

if Layout90='Squ' then Ptp := Pt90;

if Layout90='Tri' then Ptp := 0.866*Pt90;

if Layout90='Rottri' then Ptp := 0.5*Pt90;

if Layout90='Rotsqu' then Ptp := 0.707*Pt90;

```

Nc := Ds90*(1-(2*Lc/Ds90))/Ptp;
Nss := Nc*NsspNc90;
if Layout90 = 'Squ' then a:=0.266 else a:=0.133;
nb := ((a*Nc)+Nss)/(2*Rhos90*Sb*Sb);

```

```

edit1.Text:=floattostr(Ss);
edit2.Text:=floattostr(ns);
edit3.Text:=floattostr(St);
edit4.Text:=floattostr(nt);
edit5.Text:=floattostr(Sm);
edit6.Text:=floattostr(Sw);
edit7.Text:=floattostr(nw);
edit8.Text:=floattostr(Sb);
edit9.Text:=floattostr(nb);

```

```
end;
```

```
procedure TShellside.Button3Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Reshell := D090*mT90*Fcrbegin/(Viscs90*Sm);
```

```
    if (Layout90='Squ')or(Layout90='Rotsqu') then begin
```

```
        if Reshell<=2000 then begin
```

```
            termKf1 := (207/Reshell);
```

```
            termKf2 := (102/power(Reshell,2));
```

```
            termKf3 := (286/power(Reshell,3));
```

```
            Kf := 0.274+termKf1+termKf2-termKf3;
```

```
        end;
```

```
        if (Reshell>2000)or(Reshell<2000000) then begin
```

```
            termKf1 := (2490/Reshell);
```

```
            termKf2 := (9270000/power(Reshell,2));
```

```
            termKf3 := (10000000000/power(Reshell,3));
```

```
            Kf:=0.267+termKf1-termKf2+termKf3;
```

```
        end;
```

```
    end;
```

```
    if (Layout90='Tri')or(Layout90='Rottri') then begin
```

```
        if Reshell<=1000 then begin
```

```
            termKf1 := (247/Reshell);
```

```
            termKf2 := (3350/power(Reshell,2));
```

```
            termKf3 := (1550/power(Reshell,3));
```

```

termKf4 := (2410/power(Reshell,4));
Kf:=0.795+termKf1+termKf2-termKf3+termKf4;
    end;
if (Reshell>1000)or(Reshell<1000000) then begin
    termKf1 := (3390/Reshell);
    termKf2 := (9840000/power(Reshell,2));
    termKf3 := (13300000000/power(Reshell,3));
    termKf4 := (5990000000000/power(Reshell,4));
    Kf:=0.245+termKf1-termKf2+termKf3-termKf4;
        end;
    end;

nc91 := Nc*Kf/(2*Rhos90*Sm*Sm);
ncb := power((power(Nc,-0.5)+power(nb,-0.5)),-2);
na := nw+ncb;
np := power((power(na,-0.5)+power(ns,-0.5)+power(nt,-0.5)),-2);
termFcr1 := power((np/na),0.5);
termFcr2 := power((nc91/nb),0.5);
Fcrcl := termFcr1*power((1+termFcr2),-1);

edit11.Text:=floattostr(Reshell);
edit12.Text:=floattostr(Kf);
edit13.Text:=floattostr(nc91);
edit14.Text:=floattostr(ncb);
edit15.Text:=floattostr(na);
edit16.Text:=floattostr(np);
edit17.Text:=floattostr(Fcrcl);

{if label24.Caption='Auto' then begin
    Fcrbegin := strtfloat(edit10.text);
    close91 := strtfloat(edit23.text);
    Fcrend := strtfloat(edit24.text);
    i:=0;
    repeat
        Reshell := D090*mT90*Fcrbegin/(Viscs90*Sm);
    if (Layout90='Squ')or(Layout90='Rotsqu') then begin
        if Reshell<=2000 then begin
            Kf := 0.274+termKf1+termKf2-termKf3;
            termKf1 := (207/Reshell);

```



```

termKf2 := (102/power(Reshell,2));
termKf3 := (286/power(Reshell,3));
end;
if (Reshell>2000)or(Reshell<2000000) then begin
Kf:=0.267+termKf1-termKf2+termKf3;
termKf1 := (2490/Reshell);
termKf2 := (9270000/power(Reshell,2));
termKf3 := (10000000000/power(Reshell,3));
end;
end;
if (Layout90='Tri')or(Layout90='Rottri') then begin
if Reshell<=1000 then begin
Kf:=0.795+termKf1+termKf2-termKf3+termKf4;
termKf1 := (247/Reshell);
termKf2 := (3350/power(Reshell,2));
termKf3 := (1550/power(Reshell,3));
termKf4 := (2410/power(Reshell,4));
end;
if (Reshell>1000)or(Reshell<1000000) then begin
Kf:=0.245+termKf1-termKf2+termKf3-termKf4;
termKf1 := (3390/Reshell);
termKf2 := (9840000/power(Reshell,2));
termKf3 := (13300000000/power(Reshell,3));
termKf4 := (5990000000000/power(Reshell,4));
end;
end;}
nc91 := Nc*Kf/(2*Rhos90*Sm*Sm);
ncb := power((power(Nc,-0.5)+power(nb,-0.5)),-2);
na := nw+ncb;
np := power((power(na,-0.5)+power(ns,-0.5)+power(nt,-0.5)),-2);
termFcr1 := power((np/na),0.5);
termFcr2 := power((nc91/nb),0.5);
Fcrcl := termFcr1*power((1+termFcr2),-1);

{ if Fcrbegin<=Fcrcl then begin
Diff:=Fcrbegin/Fcrcl;
if Diff>=close91 then exit:=true else exit:=false;

```

```

        end;
    if Fcrbegin>Fcrcl then begin
        Diff:=Fcrcl/Fcrbegin;
        if Diff>=close91 then exit:=true else exit:=false;
        end;}
    {Fcrbegin:=Fcrbegin+0.01;
    if Fcrbegin=Fcrend then i:=i+1;
until i=1;}
beep;
edit11.Text:=floattostr(Reshell);
edit12.Text:=floattostr(Kf);
edit13.Text:=floattostr(nc91);
edit14.Text:=floattostr(ncb);
edit15.Text:=floattostr(na);
edit16.Text:=floattostr(np);
edit17.Text:=floattostr(Fcrcl);

end;

procedure TShellside.Button4Click(Sender: TObject);
begin
    Pdrop91:=np*mT90*mT90;
    ShellPdrop:=(Nbf90+1)*Pdrop91;

    Prshell:=Cps90*Viscs90/Tconds90;
    ShellHtrcoef:=(Tconds90/DO90)*(0.211*power(Reshell,0.651)*power(Prshell,0.34));

    edit18.Text:=floattostr(Pdrop91);
    edit19.Text:=floattostr(ShellPdrop);
    edit20.Text:=floattostr(Reshell);
    edit21.Text:=floattostr(Prshell);
    edit22.Text:=floattostr(ShellHtrcoef);
end;

procedure TShellside.Label27Click(Sender: TObject);
begin
    Shellside.Hide;
    Tubeside.show;
end;

```

```
procedure TShellside.Edit10Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit10.Text<>''then
```

```
        Fcrbegin:=strtofloat(edit10.text);
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit92;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
    StdCtrls,math, ExtCtrls, jpeg;
```

```
type
```

```
    TTubeside = class(TForm)
```

```
        Label1: TLabel;
```

```
        GroupBox1: TGroupBox;
```

```
        Label2: TLabel;
```

```
        Label3: TLabel;
```

```
        Label4: TLabel;
```

```
        Label5: TLabel;
```

```
        GroupBox2: TGroupBox;
```

```
        Label6: TLabel;
```

```
        Label7: TLabel;
```

```
        Label8: TLabel;
```

```
        Label9: TLabel;
```

```
        Edit1: TEdit;
```

```
        Edit2: TEdit;
```

```
        Edit3: TEdit;
```

```
        Edit4: TEdit;
```

```
        Edit5: TEdit;
```

```
        Edit6: TEdit;
```

```
        Edit7: TEdit;
```

```
        Edit8: TEdit;
```

```

GroupBox3: TGroupBox;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Button1: TButton;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
GroupBox4: TGroupBox;
RadioGroup1: TRadioGroup;
Label21: TLabel;
Edit14: TEdit;
Label22: TLabel;
Edit15: TEdit;
Button2: TButton;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Edit8Change(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Label15Click(Sender: TObject);
procedure Label16Click(Sender: TObject);
procedure Label18Click(Sender: TObject);

```

```

procedure Label20Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure Edit14Change(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Tubeside: TTubeside;
    mtube92,Rcc,U92:real;
    n92,Di92,Is92:real;
    Rhot92,Visct92,Cpt92,Tcondt92:real;
    mflux,Retube,Prtube,TubeHtrcoef:real;
    fO92,TubePdrop:real;
    Areacalculation:string;

implementation

uses Unit91,Unit90, Unit107, Unit108, Unit109;

{$R *.DFM}

procedure TTubeside.Label11Click(Sender: TObject);
begin
    Tubeside.Hide;
    Shellside.show;
end;

procedure TTubeside.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
    mtube92:=strtofloat(edit1.text);
end;

procedure TTubeside.Edit2Change(Sender: TObject);
begin
    n92:=strtofloat(edit2.text);

```

end;

procedure TTubeside.Edit3Change(Sender: TObject);

begin

Di92:=strtoint(edit3.text);

end;

procedure TTubeside.Edit4Change(Sender: TObject);

begin

Ls92:=strtoint(edit4.text);

end;

procedure TTubeside.Edit5Change(Sender: TObject);

begin

Rhot92:=strtoint(edit5.text);

end;

procedure TTubeside.Edit6Change(Sender: TObject);

begin

Visct92:=strtoint(edit6.text);

end;

procedure TTubeside.Edit7Change(Sender: TObject);

begin

Cpt92:=strtoint(edit7.text);

end;

procedure TTubeside.Edit8Change(Sender: TObject);

begin

Tcondt92:=strtoint(edit8.text);

end;

procedure TTubeside.Button1Click(Sender: TObject);

begin

mflux :=mtube92*n92/(Nt90*(3.14*Di92*Di92/4));

Retube:=mflux*Di92/Visct92;

Prtube:=Cpt92*Visct92/Tcondt92;

TubeHtrcoef:=0.023*(Tcondt92/Di92)*power(Retube,0.8)*power(Prtube,0.4);

```

if Retube<=2100 then
    f092:=16/Retube;
if (Retube>2100)and(Retube<=20000)then
    f092:=0.079*power(Retube,-0.25);
if Retube>20000 then
    f092:=0.046*power(Retube,-0.2);

TubePdrop:=4*n92*f092*LS92*mflux*mflux/(2*Di92*Rhot92);

edit9.Text:=floattostr(mflux);
edit10.Text:=floattostr(Retube);
edit11.Text:=floattostr(Prtube);
edit12.Text:=floattostr(TubeHtrcoef);
edit13.Text:=floattostr(TubePdrop);
end;

procedure TTubeside.Label15Click(Sender: TObject);
begin
    Areacalculation:='LMTD';
    label15.Transparent:=false;
    label16.Transparent:=true;
    label20.Transparent:=true;
end;

procedure TTubeside.Label16Click(Sender: TObject);
begin
    Areacalculation:='E-NTU';
    label15.Transparent:=true;
    label16.Transparent:=false;
    label20.Transparent:=true;
end;

procedure TTubeside.Label18Click(Sender: TObject);
begin
    Tubeside.Hide;
    if Areacalculation='LMTD' then
        callLMTD.show;
    if Areacalculation='E-NTU' then

```



```

    calENTU.show;
    if Areacalculation='E-NTUarea' then
        calENTUarea.show;
    end;

    -
procedure TTubeside.Label20Click(Sender: TObject);
begin
    Areacalculation:='E-NTUarea';
    label15.Transparent:=true;
    label16.Transparent:=true;
    label20.Transparent:=false;
end;

procedure TTubeside.RadioGroup1Click(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup1.ItemIndex=0 then begin
        label21.Visible:=true;
        edit14.Visible:=true;
        button2.Enabled:=true;
        label22.Visible:=false;
        end;
    if radiogroup1.ItemIndex=1 then begin
        label21.Visible:=false;
        edit14.Visible:=false;
        button2.Enabled:=false;
        label22.Caption:='Can not find U';
        label22.Visible:=true;
        edit15.Visible:=false;
        end;
    end;

    -
procedure TTubeside.Edit14Change(Sender: TObject);
begin
    if edit14.Text<>''then
        Rcc := strtofloat(edit14.text);
    end;

    -
procedure TTubeside.Button2Click(Sender: TObject);
begin

```

```
label22.Caption:='Over all heat transfer coefficient';
```

```
edit15.Visible:=true;
```

```
label22.Visible:=true;
```

```
U92 := 1/(Rcc+(1/ShellHtrcoef)+(D090/(Di92*TubeHtrcoef)));
```

```
Edit15.Text:=floattostr(U92);
```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit107;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
```

```
StdCtrls, ExtCtrls, math, jpeg;
```

```
type
```

```
TcalLMTD = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
GroupBox1: TGroupBox;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Edit5: TEdit;
```

```
Edit6: TEdit;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label9: TLabel;
```

```
Edit7: TEdit;
```

```
Edit8: TEdit;
```

```

Button1: TButton;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
RadioGroup3: TRadioGroup;
Button3: TButton;
GroupBox2: TGroupBox;
Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
RadioGroup1: TRadioGroup;
RadioGroup2: TRadioGroup;
RadioGroup4: TRadioGroup;
Button2: TButton;
Button4: TButton;
Image1: TImage;

procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Edit8Change(Sender: TObject);

```

```

procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit9Change(Sender: TObject);
procedure Edit10Change(Sender: TObject);
procedure Edit11Change(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup2Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup4Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  callMTD: TcallMTD;
  Thin107,Thout107,Tcin107,Tcout107,Cph107,Cpc107:real;
  mh107,mc107:real;
  termTLm1,termTLm2,DelTLm,R107,P107:real;
  termF1,termF2,termF3,F107:real;
  EffDelTLm,Q107,A107,U107:real;
  D0107,Ls107,Nt107:real;
  mhcal107,mccal107:real;
  Thincal107,Thoutcal107,Tcincal107,Tcoutcal107:real;

```

implementation

```
uses Unit92,unit90;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```

procedure TcallMTD.Label1Click(Sender: TObject);
begin
  callMTD.Hide;
  Tubeside.show;

```

end;

```
procedure TcallMTD.Edit1Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit1.Text<>''then
```

```
        Thin107:=strtofloat(edit1.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit2Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit2.Text<>''then
```

```
        Thout107:=strtofloat(edit2.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit3Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit3.Text<>''then
```

```
        Tcin107:=strtofloat(edit3.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit4Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit4.Text<>''then
```

```
        Tcout107:=strtofloat(edit4.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit7Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit7.Text<>'' then
```

```
        Cph107:=strtofloat(edit7.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit8Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if edit8.Text<>''then
```

```
        Cpc107:=strtofloat(edit8.text);
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Edit5Change(Sender: TObject);
```

```

begin
    if edit5.Text<>'' then
        mh107:=strtofloat(edit5.text);
end;

procedure TcallMTD.Edit6Change(Sender: TObject);
begin
    if edit6.Text<>'' then
        mc107:=strtofloat(edit6.text);
end;

procedure TcallMTD.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    termTLm1 := ((Thin107-Tcout107)-(Thout107-Tcin107));
    termTLm2 := ln((Thin107-Tcout107)/(Thout107-Tcin107));
    DelTLm := termTLm1/termTLm2;

    R107 := (Thin107-Thout107)/(Tcout107-Tcin107);
    P107 := (Tcout107-Tcin107)/(Thin107-Tcin107);

    termF1 := power(((R107*R107)+1),0.5);
    termF2 := termF1*ln((1-P107)/(1-(R107*P107)));
    termF3 := (R107-1)*ln((2-(P107*(R107+1-termF1)))/(2-(P107*(R107+1+termF1))));
    F107 := termF2/termF3;

    EffDelTLm := F107*DelTLm;

    Q107 := mh107*Cph107*(Thin107-Thout107);
    A107 := 3.14*D0107*Ts107*Nt107;
    U107 := Q107/(A107*EffDelTLm);

    edit12.Text:=floattostr(DelTLm);
    edit13.Text:=floattostr(P107);
    edit14.Text:=floattostr(R107);
    edit15.Text:=floattostr(F107);
    edit16.Text:=floattostr(EffDelTLm);
    edit17.Text:=floattostr(Q107);
    edit18.Text:=floattostr(A107);
    edit19.Text:=floattostr(U107);

```

end;

procedure TcallMTD.Edit9Change(Sender: TObject);

begin

if edit9.Text<>'' then

D0107:=strtofloat(edit9.text);

end;

procedure TcallMTD.Edit10Change(Sender: TObject);

begin

if edit10.Text<>'' then

Ls107:=strtofloat(edit10.text);

end;

procedure TcallMTD.Edit11Change(Sender: TObject);

begin

if edit11.Text<>'' then

Nt107:=strtofloat(edit11.text);

end;

procedure TcallMTD.Button3Click(Sender: TObject);

begin

if radiogroup3.ItemIndex=0 then begin

edit9.Text:='';

edit10.Text:='';

edit11.Text:='';

end;

if radiogroup3.ItemIndex=1 then begin

edit9.Text:=floattostr(D090);

edit10.Text:=floattostr(Ls92);

edit11.Text:=floattostr(Nt90);

end;

end;

procedure TcallMTD.RadioGroup1Click(Sender: TObject);

begin

if radiogroup1.ItemIndex=0 then begin

radiogroup2.Enabled:=true;

radiogroup4.Enabled:=false;


```

        end;
    if radiogroup1.ItemIndex=1 then begin
        radiogroup2.Enabled:=false;
        radiogroup4.Enabled:=true;
        end;
    end;

```

```

procedure TcallMTD.Button2Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    if radiogroup2.ItemIndex=0 then begin

```

```

        edit1.Visible:=true;

```

```

        edit2.Visible:=true;

```

```

        edit3.Visible:=true;

```

```

        edit4.Visible:=true;

```

```

        edit5.Visible:=false;

```

```

        edit6.Visible:=true;

```

```

        edit5.Text:="";

```

```

    end;

```

```

    if radiogroup2.ItemIndex=1 then begin

```

```

        edit1.Visible:=true;

```

```

        edit2.Visible:=true;

```

```

        edit3.Visible:=true;

```

```

        edit4.Visible:=true;

```

```

        edit5.Visible:=true;

```

```

        edit6.Visible:=false;

```

```

        edit6.Text:="";

```

```

    end;

```

```

    if radiogroup4.ItemIndex=0 then begin

```

```

        edit1.Visible:=false;

```

```

        edit2.Visible:=true;

```

```

        edit3.Visible:=true;

```

```

        edit4.Visible:=true;

```

```

        edit5.Visible:=true;

```

```

        edit6.Visible:=true;

```

```

        edit1.Text:="";

```

```

    end;

```

```
if radiogroup4.ItemIndex=1 then begin
```

```
    edit1.Visible:=true;
```

```
    edit2.Visible:=false;
```

```
    edit3.Visible:=true;
```

```
    edit4.Visible:=true;
```

```
    edit5.Visible:=true;
```

```
    edit6.Visible:=true;
```

```
    edit2.Text:="";
```

```
end;
```

```
if radiogroup4.ItemIndex=2 then begin
```

```
    edit1.Visible:=true;
```

```
    edit2.Visible:=true;
```

```
    edit3.Visible:=false;
```

```
    edit4.Visible:=true;
```

```
    edit5.Visible:=true;
```

```
    edit6.Visible:=true;
```

```
    edit3.Text:="";
```

```
end;
```

```
if radiogroup4.ItemIndex=3 then begin
```

```
    edit1.Visible:=true;
```

```
    edit2.Visible:=true;
```

```
    edit3.Visible:=true;
```

```
    edit4.Visible:=false;
```

```
    edit5.Visible:=true;
```

```
    edit6.Visible:=true;
```

```
    edit4.Text:="";
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure TcallMTD.Button4Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    if radiogroup2.ItemIndex=0 then begin
```

```
        mhcal107:=(mc107*Cpc107*(Tcout107-Tcin107))/(Cph107*(Thin107-Thout107));
```

```
        edit5.Visible:=true;
```

```
        edit5.Text:=floattostr(mhcal107);
```

```
        mh107:=mhcal107;
```

```

        end;
    if radiogroup2.ItemIndex=1 then begin
        mccal107:=(mh107*Cph107*(Thin107-Thout107))/(Cpc107*(Tcout107-Tcin107));
        edit6.Visible:=true;
        edit6.Text:=floattostr(mccal107);
        mc107:=mccal107;
        end;
    if radiogroup4.ItemIndex=0 then begin
        Thincal107:=Thout107+(mc107*Cpc107*(Tcout107-Tcin107)/(mh107*Cph107));
        edit1.Visible:=true;
        edit1.Text:=floattostr(Thincal107);
        Thin107:=Thincal107;
        end;
    if radiogroup4.ItemIndex=1 then begin
        Thoutcal107:=Thin107-(mc107*Cpc107*(Tcout107-Tcin107)/(mh107*Cph107));
        edit2.Visible:=true;
        edit2.Text:=floattostr(Thoutcal107);
        Thout107:=Thoutcal107;
        end;
    if radiogroup4.ItemIndex=2 then begin
        Tcincal107:=Tcout107-(mh107*Cph107*(Thin107-Thout107)/(mc107*Cpc107));
        edit3.Visible:=true;
        edit3.Text:=floattostr(Tcincal107);
        Tcin107:=Tcincal107;
        end;
    if radiogroup4.ItemIndex=3 then begin
        Tcoutcal107:=Tcin107+(mh107*Cph107*(Thin107-Thout107)/(mc107*Cpc107));
        edit4.Visible:=true;
        edit4.Text:=floattostr(Tcoutcal107);
        Tcout107:=Tcoutcal107;
        end;
end;

procedure TcallMTD.RadioGroup2Click(Sender: TObject);
begin
    radiogroup4.ItemIndex:=-1;
end;

procedure TcallMTD.RadioGroup4Click(Sender: TObject);

```

```

begin
    radiogroup2.ItemIndex:=-1;
end;

end.

```

```

unit Unit108;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls, math, jpeg;

```

```

type

```

```

    TcalENTU = class(TForm)

```

```
        Label1: TLabel;

```

```
        GroupBox1: TGroupBox;

```

```
        Label2: TLabel;

```

```
        Label3: TLabel;

```

```
        Label4: TLabel;

```

```
        Label5: TLabel;

```

```
        Edit1: TEdit;

```

```
        Edit2: TEdit;

```

```
        Edit3: TEdit;

```

```
        Edit4: TEdit;

```

```
        GroupBox2: TGroupBox;

```

```
        Label6: TLabel;

```

```
        Edit5: TEdit;

```

```
        Label7: TLabel;

```

```
        Edit6: TEdit;

```

```
        Label8: TLabel;

```

```
        Label9: TLabel;

```

```
        Edit7: TEdit;

```

```
        Edit8: TEdit;

```

```
        Label10: TLabel;

```

```
        Label11: TLabel;

```

```
        Label12: TLabel;

```

```

Label13: TLabel;
Label14: TLabel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
RadioGroup1: TRadioGroup;
RadioGroup2: TRadioGroup;
Button1: TButton;
Edit17: TEdit;
RadioGroup3: TRadioGroup;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Edit8Change(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup2Click(Sender: TObject);
procedure Edit17Change(Sender: TObject);
private
    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

```

```
var
```

```

calENTU: TcalENTU;
Thin108,Tcin108,A108,U108,Cpc108,Cph108:real;
mc108,mh108,n108:real;
Tcout108,Thout108,Q,Qmax,E,E1:real;
term1,term2,term3,term4,term5,term6:real;
n6,NTU108,Cr108,Cmin,Cmax,Cc,Ch:real;
NTUpc108,Cminpc108,Qmaxpc:real;

```

implementation

```
uses Unit92;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```

procedure TcalENTU.Label1Click(Sender: TObject);
begin
    calENTU.Hide;
    Tubeside.show;
end;

```

```

procedure TcalENTU.Edit1Change(Sender: TObject);
begin
    if edit1.Text<>''then
        mh108:=strtofloat(edit1.text);
end;

```

```

procedure TcalENTU.Edit2Change(Sender: TObject);
begin
    if edit2.Text<>''then
        Cph108:=strtofloat(edit2.text);
end;

```

```

procedure TcalENTU.Edit3Change(Sender: TObject);
begin
    if edit3.Text<>''then
        mc108:=strtofloat(edit3.text);
end;

```

```

procedure TcalENTU.Edit4Change(Sender: TObject);

```

```

begin
    if edit4.Text<>''then
        Cpc108:=strtofloat(edit4.text);
end;

procedure TcalENTU.Edit5Change(Sender: TObject);
begin
    if edit5.Text<>''then
        U108:=strtofloat(edit5.text);
end;

procedure TcalENTU.Edit6Change(Sender: TObject);
begin
    if edit6.Text<>''then
        A108:=strtofloat(edit6.text);
end;

procedure TcalENTU.Edit7Change(Sender: TObject);
begin
    if edit7.Text<>''then
        Thin108:=strtofloat(edit7.text);
end;

procedure TcalENTU.Edit8Change(Sender: TObject);
begin
    if edit8.Text<>''then
        Tcin108:=strtofloat(edit8.text);
end;

procedure TcalENTU.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup3.ItemIndex=0 then begin
        Cminpc108:=mc108*Cpc108;
        NTUpc108:=U108*A108/Cminpc108;
        Qmaxpc:=Cminpc108*(Thin108-Tcin108);
        end;
    if radiogroup3.ItemIndex=1 then begin
        Cminpc108:=mh108*Cph108;
        NTUpc108:=U108*A108/Cminpc108;

```



```

Qmaxpc:=Cminpc108*(Thin108-Tcin108);
                                end;
Cc := mc108*Cpc108;
Ch := mh108*Cph108;

if Cc > Ch then begin
    Cmin := Ch;
    Cmax := Cc;
    Qmax := mh108*Cph108*(Thin108-Tcin108);
                                end;
if Cc < Ch then begin
    Cmin := Cc;
    Cmax := Ch;
    Qmax := mc108*Cpc108*(Thin108-Tcin108);
                                end;

Cr108 := Cmin/Cmax;
NTU108 := U108*A108/Cmin;

if radiogroup1.ItemIndex=0 then begin
    term1:=(-1)*NTU108*power((1+(Cr108*Cr108)),0.5);
E:=2*(1+Cr108+(power((1+(Cr108*Cr108)),0.5)*(1+exp(term1))/(1-exp(term1))));
                                end;
if radiogroup1.ItemIndex=1 then begin
    term1:=(-1)*NTU108*power((1+(Cr108*Cr108)),0.5);
E1:=2*(1+Cr108+(power((1+(Cr108*Cr108)),0.5)*(1+exp(term1))/(1-exp(term1))));
    term2:=power((1-(E1*Cr108))/(1-E1),n108)-1;
    term3:=power((power((1-(E1*Cr108))/(1-E1),n108)-Cr108),-1);
    E:=term2*term3;
                                end;
if radiogroup2.ItemIndex=0 then begin
    term4:=1/(1-exp(-NTU108));
    term5:=Cr108/(1-exp(-NTU108*Cr108));
    E:=power(term4+term5-((1/NTU108)),-1);
                                end;
if radiogroup2.itemindex=1 then begin
    n6 := power(NTU108,-0.22);
    term6 := exp(((NTU108*Cr108*n6)-1)/(Cr108*n6));
    E := 1-exp(term6);

```

```

end;
if radiogroup2.itemindex=2 then begin
  E:=(1/Cr108)*(1-exp(-Cr108*(1-exp(-NTU108))));
  end;
if radiogroup2.itemindex=3 then begin
  E:=1-exp((-power(Cr108,-1))*(1-exp(-Cr108*(NTU108))));
  end;
if radiogroup2.ItemIndex=4 then begin
  E:=1-exp(-NTUpc108);
  NTU108:=NTUpc108;
  end;
if radiogroup3.ItemIndex<>-1 then
  Q := E*Qmaxpc else
  Q := E*Qmax;
if radiogroup3.ItemIndex=0 then
  Thout108:=Thin108 else
  Thout108:=Thin108-(Q/(mh108*Cph108));
if radiogroup3.ItemIndex=1 then
  Tcout108:=Tcin108 else
  Tcout108:=Tcin108+(Q/(mc108*Cpc108));

if radiogroup3.ItemIndex<>-1 then
  edit9.Text:=floattostr(Cminpc108) else
  edit9.text:=floattostr(Cmin);
if radiogroup3.ItemIndex<>-1 then
  edit10.Text:="" else
  edit10.text:=floattostr(Cmax);
if radiogroup3.ItemIndex<>-1 then
  edit11.Text:="" else
  edit11.text:=floattostr(Cr108);
edit12.text:=floattostr(NTU108);
edit13.text:=floattostr(E);
edit14.text:=floattostr(Q);
edit15.text:=floattostr(Thout108);
edit16.text:=floattostr(Tcout108);

end;

```

```

procedure TcalENTU.RadioGroup1Click(Sender: TObject);
begin
    radiogroup2.ItemIndex:=-1;
    radiogroup3.ItemIndex:=-1;
    radiogroup3.Enabled:=false;
end;

```

```

procedure TcalENTU.RadioGroup2Click(Sender: TObject);
begin
    radiogroup1.ItemIndex:=-1;
    if radiogroup2.ItemIndex<>4 then begin
        radiogroup3.ItemIndex:=-1;
        radiogroup3.Enabled:=false;
    end else
        radiogroup3.Enabled:=true;
end;

```

```

procedure TcalENTU.Edit17Change(Sender: TObject);
begin
    if edit17.Text<>'' then
        n108:=strtofloat(edit17.text);
end;

end.

```

```

unit Unit109;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ExtCtrls, math, jpeg;

```

```

type

```

```

    TcalENTUarea = class(TForm)
        Label1: TLabel;
        GroupBox1: TGroupBox;

```

```
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Edit2: TEdit;  
Edit3: TEdit;  
Edit4: TEdit;  
Edit5: TEdit;  
Edit6: TEdit;  
Edit7: TEdit;  
Edit8: TEdit;  
GroupBox2: TGroupBox;  
Label10: TLabel;  
Label11: TLabel;  
Label12: TLabel;  
Label13: TLabel;  
Label14: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Edit9: TEdit;  
Edit10: TEdit;  
Edit11: TEdit;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Button1: TButton;  
RadioGroup1: TRadioGroup;  
RadioGroup2: TRadioGroup;  
Edit15: TEdit;  
Label16: TLabel;  
Edit16: TEdit;  
RadioGroup3: TRadioGroup;  
RadioGroup4: TRadioGroup;  
RadioGroup5: TRadioGroup;  
Button2: TButton;
```



```

Button3: TButton;
RadioGroup6: TRadioGroup;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup2Click(Sender: TObject);
procedure Edit1Change(Sender: TObject);
procedure Edit2Change(Sender: TObject);
procedure Edit3Change(Sender: TObject);
procedure Edit4Change(Sender: TObject);
procedure Edit5Change(Sender: TObject);
procedure Edit6Change(Sender: TObject);
procedure Edit7Change(Sender: TObject);
procedure Edit8Change(Sender: TObject);
procedure Edit15Change(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Edit16Change(Sender: TObject);
procedure RadioGroup3Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup4Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup5Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure RadioGroup6Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var
  calENTUarea: TcalENTUarea;
  n109,Cpc109,Cph109,mc109,mh109,U109,F109:real;
  Tcout109,Tcin109,Thout109,Thin109:real;
  A109,NTU109,Cmin,Cmax,Cc,Ch,Cr109,E,E1,E2:real;
  mhcal109,mccal109,Thincal109,Thoutcal109:real;
  Tcincal109,Tcoutcal109,Epchange,Cminpchange:real;
  Thinpc109,Thoutpc109:real;
  Tcinpc109,Tcoutpc109:real;
  mhpc109,mcpc109:real;

```

implementation

uses Unit92;

{ \$R *.DFM }

procedure TcalENTUarea.Label1Click(Sender: TObject);

begin

 calENTUarea.Hide;

 Tubeside.show;

end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup1Click(Sender: TObject);

begin

 radiogroup2.ItemIndex:=-1;

 radiogroup6.Enabled:=false;

 radiogroup6.ItemIndex:=-1;

 radiogroup3.Enabled:=true;

end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup2Click(Sender: TObject);

begin

 radiogroup1.ItemIndex:=-1;

 if radiogroup2.ItemIndex=2 then begin

 radiogroup6.Enabled:=true;

 radiogroup3.Enabled:=false;

 radiogroup4.Enabled:=false;

 radiogroup5.Enabled:=false;

 button2.Enabled:=false;

 button3.Enabled:=false;

 radiogroup3.ItemIndex:=-1;

 radiogroup4.ItemIndex:=-1;

 radiogroup5.ItemIndex:=-1;

 end else begin

 radiogroup6.Enabled:=false;

 radiogroup6.ItemIndex:=-1;

 radiogroup3.Enabled:=true;

 end;

end;

procedure TcalENTUarea.Edit1Change(Sender: TObject);

begin

if radiogroup6.ItemIndex=0 then begin

if edit1.Text<>'' then begin

Thinpc109:=strtofloat(edit1.text);

Thoutpc109:=Thinpc109;

edit2.Text:=floattostr(Thoutpc109);

end;

end else

if radiogroup6.ItemIndex=1 then begin

if edit1.Text<>'' then

Thinpc109:=strtofloat(edit1.text);

end;

if edit1.Text<>'' then

Thin109:=strtofloat(edit1.text);

end;

procedure TcalENTUarea.Edit2Change(Sender: TObject);

begin

if radiogroup6.ItemIndex=0 then begin

if edit2.Text<>'' then begin

Thoutpc109:=strtofloat(edit2.text);

Thinpc109:=Thoutpc109;

edit1.Text:=floattostr(Thinpc109);

end;

end else

if radiogroup6.ItemIndex=1 then begin

if edit2.Text<>'' then

Thoutpc109:=strtofloat(edit2.text);

end;

if edit2.Text<>'' then

Thout109:=strtofloat(edit2.text);

end;

procedure TcalENTUarea.Edit3Change(Sender: TObject);

begin


```

if radiogroup6.ItemIndex=1 then begin
    if edit3.Text<>''then begin
        Tcinpc109:=strtofloat(edit3.text);
        Tcoutpc109:=Tcinpc109;
        edit4.Text:=floattostr(Tcoutpc109);
        end;
    end else
if radiogroup6.ItemIndex=0 then begin
    if edit3.Text<>''then
        Tcinpc109:=strtofloat(edit3.text);
        end;

    if edit3.Text<>''then
        Tcin109:=strtofloat(edit3.text);
end;

procedure TcalENTUarea.Edit4Change(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup6.ItemIndex=1 then begin
        if edit4.Text<>''then begin
            Tcoutpc109:=strtofloat(edit4.text);
            Tcinpc109:=Tcoutpc109;
            edit3.Text:=floattostr(Tcinpc109);
            end;
        end else
if radiogroup6.ItemIndex=0 then begin
    if edit4.Text<>''then
        Tcoutpc109:=strtofloat(edit4.text);
        end;

    if edit4.Text<>''then
        Tcout109:=strtofloat(edit4.text);
end;

procedure TcalENTUarea.Edit5Change(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup6.ItemIndex<>-1 then begin
        if edit5.Text<>''then
            mhpc109:=strtofloat(edit5.text);
            end;

        if edit5.Text<>''then

```

```

mh109:=strtofloat(edit5.text);
end;

```

```

procedure TcalENTUarea.Edit6Change(Sender: TObject);
begin
  if radiogroup6.ItemIndex<>-1 then begin
    if edit6.Text<>'' then
      mcpc109:=strtofloat(edit6.text);
      end;

    if edit6.Text<>' ' then
      mc109:=strtofloat(edit6.text);
  end;
end;

```

```

procedure TcalENTUarea.Edit7Change(Sender: TObject);
begin
  if edit7.Text<>'' then
    Cph109:=strtofloat(edit7.text);
end;

```

```

procedure TcalENTUarea.Edit8Change(Sender: TObject);
begin
  if edit8.Text<>'' then
    Cpc109:=strtofloat(edit8.text);
end;

```

```

procedure TcalENTUarea.Edit15Change(Sender: TObject);
begin
  if edit15.Text<>'' then;
    n109:=strtofloat(edit15.text);
end;

```

```

procedure TcalENTUarea.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  if radiogroup6.ItemIndex=0 then begin
    Cminpchange:=mcpc109*Cpc109;
    Epcchange:=(Tcoutpc109-Tcinpc109)/(Thinpc109-Tcinpc109);
    end;

  if radiogroup6.ItemIndex=1 then begin
    Cminpchange:=mhpc109*Cph109;

```

```

Epchange:=(Thinpc109-Thoutpc109)/(Thinpc109-Tcinpc109);
end;
Cc := mc109*Cpc109;
Ch := mh109*Cph109;
if Cc < Ch then begin
    Cmin := Cc;
    Cmax := Ch;
    E := (Tcout109-Tcin109)/(Thin109-Tcin109);
end;
if Cc > Ch then begin
    Cmin := Ch;
    Cmax := Cc;
    E := (Thin109-Thout109)/(Thin109-Tcin109);
end;
Cr109:=Cmin/Cmax;

if radiogroup1.ItemIndex=0 then begin
    E1 := ((2/E)-(1+Cr109))/power((1+(Cr109*Cr109)),0.5);
    NTU109 := (-1)*power((1+(Cr109*Cr109)), -0.5)*ln((E1-1)/(E1+1));
end;
if radiogroup1.ItemIndex=1 then begin
    F109 := power(((E*Cr109)-1)/(E-1), (1/n109));
    E2 := (F109-1)/(F109-Cr109);
    E1 := ((2/E2)-(1+Cr109))/power((1+(Cr109*Cr109)),0.5);
    NTU109 := (-1)*power((1+(Cr109*Cr109)), -0.5)*ln((E1-1)/(E1+1));
end;
if radiogroup2.ItemIndex=0 then begin
    NTU109 := (-1)*ln(1+((1/Cr109)*ln(1-(E*Cr109))));
end;
if radiogroup2.ItemIndex=1 then begin
    NTU109 := (-1/Cr109)*ln((Cr109*ln(1-E))+1);
end;
if radiogroup2.ItemIndex=2 then begin
    NTU109 := -ln(1-Epchange);
    Cmin:=Cminpchange;
end;
A109 := NTU109*Cmin/U109;

edit9.Text:=floattostr(Cmin);

```

```

if radiogroup6.ItemIndex=-1 then
    edit10.Text:=floattostr(Cmax) else
    edit10.Text:="";
if radiogroup6.ItemIndex=-1 then
    edit11.Text:=floattostr(Cr109) else
    edit11.Text:="";
if radiogroup6.ItemIndex=-1 then
    edit12.Text:=floattostr(E) else
    edit12.Text:=floattostr(Epchange);
edit13.Text:=floattostr(NTU109);
edit14.Text:=floattostr(A109);

end;

procedure TcalENTUarea.Edit16Change(Sender: TObject);
begin
    if edit16.Text<>"" then
        U109 := strtofloat(edit16.text);
end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup3Click(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup3.ItemIndex=0 then begin
        radiogroup4.Enabled:=true;
        radiogroup5.Enabled:=false;
        end;
    if radiogroup3.ItemIndex=1 then begin
        radiogroup4.Enabled:=false;
        radiogroup5.Enabled:=true;
        end;
    button2.Enabled:=true;
end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup4Click(Sender: TObject);
begin
    radiogroup5.ItemIndex:=-1;
end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup5Click(Sender: TObject);

```

```

begin
    radiogroup4.ItemIndex:=-1;
end;

procedure TcalENTUarea.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup4.ItemIndex=0 then begin
        edit1.Visible:=true;
        edit2.Visible:=true;
        edit3.Visible:=true;
        edit4.Visible:=true;
        edit5.Visible:=false;
        edit6.Visible:=true;

        edit5.Text:="";
        end;
    if radiogroup4.ItemIndex=1 then begin
        edit1.Visible:=true;
        edit2.Visible:=true;
        edit3.Visible:=true;
        edit4.Visible:=true;
        edit5.Visible:=true;
        edit6.Visible:=false;

        edit6.Text:="";
        end;
    if radiogroup5.ItemIndex=0 then begin
        edit1.Visible:=false;
        edit2.Visible:=true;
        edit3.Visible:=true;
        edit4.Visible:=true;
        edit5.Visible:=true;
        edit6.Visible:=true;

        edit1.Text:="";
        end;
    if radiogroup5.ItemIndex=1 then begin
        edit1.Visible:=true;
        edit2.Visible:=false;

```

```

edit3.Visible:=true;
edit4.Visible:=true;
edit5.Visible:=true;
edit6.Visible:=true;

edit2.Text:='';

end;

if radiogroup5.ItemIndex=2 then begin
    edit1.Visible:=true;
    edit2.Visible:=true;
    edit3.Visible:=false;
    edit4.Visible:=true;
    edit5.Visible:=true;
    edit6.Visible:=true;

    edit3.Text:='';

end;

if radiogroup5.ItemIndex=3 then begin
    edit1.Visible:=true;
    edit2.Visible:=true;
    edit3.Visible:=true;
    edit4.Visible:=false;
    edit5.Visible:=true;
    edit6.Visible:=true;

    edit4.Text:='';

end;

button3.Enabled:=true;

end;

procedure TcaIENTUarea.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    if radiogroup4.ItemIndex=0 then begin
        mhcal109:=(mc109*Cpc109*(Tcout109-Tcin109))/(Cph109*(Thin109-Thout109));
        edit5.Visible:=true;
        edit5.Text:=floattostr(mhcal109);
        mh109:=mhcal109;

        end;

    if radiogroup4.ItemIndex=1 then begin

```

```

mccal109:=(mh109*Cph109*(Thin109-Thout109))/(Cpc109*(Tcout109-Tcin109));
edit6.Visible:=true;
edit6.Text:=floattostr(mccal109);
mc109:=mccal109;

        end;

if radiogroup5.ItemIndex=0 then begin
    Thincal109:=Thout109+(mc109*Cpc109*(Tcout109-Tcin109)/(mh109*Cph109));
    edit1.Visible:=true;
    edit1.Text:=floattostr(Thincal109);
    Thin109:=Thincal109;

        end;

if radiogroup5.ItemIndex=1 then begin
    Thoutcal109:=Thin109-(mc109*Cpc109*(Tcout109-Tcin109)/(mh109*Cph109));
    edit2.Visible:=true;
    edit2.Text:=floattostr(Thoutcal109);
    Thout109:=Thoutcal109;

        end;

if radiogroup5.ItemIndex=2 then begin
    Tcincal109:=Tcout109-(mh109*Cph109*(Thin109-Thout109)/(mc109*Cpc109));
    edit3.Visible:=true;
    edit3.Text:=floattostr(Tcincal109);
    Tcin109:=Tcincal109;

        end;

if radiogroup5.ItemIndex=3 then begin
    Tcoutcal109:=Tcin109+(mh109*Cph109*(Thin109-Thout109)/(mc109*Cpc109));
    edit4.Visible:=true;
    edit4.Text:=floattostr(Tcoutcal109);
    Tcout109:=Tcoutcal109;

        end;

end;

procedure TcalENTUarea.RadioGroup6Click(Sender: TObject);
begin
    edit1.Visible:=true;
    edit2.Visible:=true;
    edit3.Visible:=true;
    edit4.Visible:=true;
    edit5.Visible:=true;
    edit6.Visible:=true;

```



```

edit1.Text:='';
edit2.Text:='';
edit3.Text:='';
edit4.Text:='';
edit5.Text:='';
edit6.Text:='';

```

```
end;
```

```
end.
```

```
unit Unit5;
```

```
interface
```

```
uses
```

```

  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

```

```
type
```

```
TRegeneration = class(TForm)
```

```

  Image1: TImage;
  Label1: TLabel;
  Memo1: TMemo;
  Image2: TImage;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;
  Label4: TLabel;
  Label5: TLabel;
  Label6: TLabel;
  Label7: TLabel;
  Shape1: TShape;
  Shape2: TShape;
  Shape3: TShape;
  Label8: TLabel;
  Label9: TLabel;

```

```

Image3: TImage;
Image4: TImage;
Memo2: TMemo;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Memo3: TMemo;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Label3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Label4MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Label8Click(Sender: TObject);
procedure Label9Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Regeneration: TRegeneration;

implementation

uses Unit2;

```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure TRegeneration.Label1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    Regeneration.Hide;
```

```
    Typemenu.show;
```

```
end;
```

```
procedure TRegeneration.Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```
    Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    shape1.Visible:=true;
```

```
end;
```

```
procedure TRegeneration.Label3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```
    Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    shape2.Visible:=true;
```

```
end;
```

```
procedure TRegeneration.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```
    Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    shape1.Visible:=false;
```

```
    shape2.Visible:=false;
```

```
    shape3.Visible:=false;
```

```
end;
```

```
procedure TRegeneration.Label4MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```
    Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    shape3.Visible:=true;
```

```
end;
```

```
procedure TRegeneration.Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
```

```
    Y: Integer);
```

```
begin
```

```
    label5.Visible:=false;
```

```
    label6.Visible:=false;
```

```

    label7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TRegeneration.Shape1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    label5.Visible:=false;
    label6.Visible:=true;
    label7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TRegeneration.Shape2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    label5.Visible:=true;
    label6.Visible:=false;
    label7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TRegeneration.Shape3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    label5.Visible:=false;
    label6.Visible:=false;
    label7.Visible:=true;
end;

```

```

procedure TRegeneration.Label8Click(Sender: TObject);
begin
    if image1.Visible=true then begin

```

```

        image1.Visible:=false;
        image3.Visible:=true;
        image4.Visible:=false;

```

```

        label2.Visible:=false;
        label3.Visible:=false;
        label4.Visible:=false;
        label5.Visible:=false;

```

```

label6.Visible:=false;
label7.Visible:=false;
shape1.Visible:=false;
shape2.Visible:=false;
shape3.Visible:=false;
memo1.Visible:=false;

memo2.Visible:=true;
label10.Caption:='Fixed Bed Regenerators';
label10.Visible:=true;
label11.Caption:='(a) First half cycle';
label11.Visible:=true;
label12.Caption:='(b) Second half cycle';
label12.Visible:=true;
        end else
if image3.Visible=true then begin

    image1.Visible:=false;
    image3.Visible:=false;
    image4.Visible:=true;

    label10.Caption:='Rotary Regenerators';
    label11.Caption:='';
    label12.Caption:='';
    memo2.Visible:=false;
    memo3.Visible:=true;
        end;

end;

procedure TRegeneration.Label9Click(Sender: TObject);
begin
    if image3.Visible=true then begin
        image1.Visible:=true;
        image3.Visible:=false;
        image4.Visible:=false;

        memo2.Visible:=false;
        memo1.Visible:=true;
        label10.Visible:=false;

```

```

label11.Visible:=false;
label12.Visible:=false;

label2.Visible:=true;
label3.Visible:=true;
label4.Visible:=true;
        end else
if image4.Visible=true then begin
    image1.Visible:=false;
    image3.Visible:=true;
    image4.Visible:=false;

    label10.Caption:='Fixed Bed Regenerators';
    label11.Caption:='(a) First half cycle';
    label12.Caption:='(b) Second half cycle';
    memo3.Visible:=false;
    memo2.Visible:=true;
        end;
end;

end.

unit Unit4;

interface

uses

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

type
    TRecuperation = class(TForm)
        Image1: TImage;
        Label1: TLabel;
        Memo1: TMemo;
        Image2: TImage;
        Label2: TLabel;
        Label3: TLabel;

```

```

Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
Label7: TLabel;
Shape1: TShape;
Shape2: TShape;
Shape3: TShape;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Label3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Label4MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Shape3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Recuperation: TRecuperation;

implementation

uses Unit2;

{$R *.DFM}

```



```

procedure TRecuperation.Label1Click(Sender: TObject);
begin
    Recuperation.Hide;
    Typemenu.show;
end;

procedure TRecuperation.Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    shape1.Visible:=true;
end;

procedure TRecuperation.Label3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    shape2.Visible:=true;
end;

procedure TRecuperation.Label4MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    shape3.Visible:=true;
end;

procedure TRecuperation.Image2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    label5.Visible:=false;
    label6.Visible:=false;
    label7.Visible:=false;
end;

procedure TRecuperation.Shape1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
    Y: Integer);
begin
    label5.Visible:=true;
    label6.Visible:=false;
    label7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TRecuperation.Shape2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
begin
  label5.Visible:=false;
  label6.Visible:=true;
  label7.Visible:=false;
end;

```

```

procedure TRecuperation.Shape3MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
begin
  label5.Visible:=false;
  label6.Visible:=false;
  label7.Visible:=true;
end;

```

```

procedure TRecuperation.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
begin
  shape1.Visible:=false;
  shape2.Visible:=false;
  shape3.Visible:=false;
end;

end.

```

```

unit Unit11;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ComCtrls, jpeg, ExtCtrls;

```

```

type

```

```

  TDirectContact = class(TForm)
    Label1: TLabel;

```

```

Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
TreeView1: TTreeView;
Label5: TLabel;
Memo1: TMemo;
Memo2: TMemo;
Memo3: TMemo;
Picture: TLabel;
Image1: TImage;
procedure Label5Click(Sender: TObject);
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure Label2Click(Sender: TObject);
procedure Label3Click(Sender: TObject);
procedure PictureClick(Sender: TObject);
procedure TreeView1Change(Sender: TObject; Node: TTreeNode);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  DirectContact: TDirectContact;

implementation

uses Unit2, Unit13, Unit14, Unit15, Unit16, Unit17, Unit18, Unit19, Unit20,
  Unit21, Unit22, Unit23, Unit24, Unit25, Unit26;

{$R *.DFM}

procedure TDirectContact.Label5Click(Sender: TObject);
begin
  DirectContact.Hide;
  Typemenu.show;
end;

procedure TDirectContact.Label1Click(Sender: TObject);
begin

```

```

memo1.Visible:=true;
memo2.Visible:=false;
memo3.Visible:=false;
label1.Transparent:=false;
label2.Transparent:=true;
label3.Transparent:=true;
label1.Font.Color:=clwhite;
label2.Font.Color:=clblack;
label3.Font.Color:=clblack;
end;

```

```

procedure TDirectContact.Label2Click(Sender: TObject);
begin
    memo1.Visible:=false;
    memo2.Visible:=true;
    memo3.Visible:=false;
    label1.Transparent:=true;
    label2.Transparent:=false;
    label3.Transparent:=true;
    label1.Font.Color:=clblack;
    label2.Font.Color:=clwhite;
    label3.Font.Color:=clblack;
end;

```

```

procedure TDirectContact.Label3Click(Sender: TObject);
begin
    memo1.Visible:=false;
    memo2.Visible:=false;
    memo3.Visible:=true;
    label1.Transparent:=true;
    label2.Transparent:=true;
    label3.Transparent:=false;
    label1.Font.Color:=clblack;
    label2.Font.Color:=clblack;
    label3.Font.Color:=clwhite;
end;

```

```

procedure TDirectContact.PictureClick(Sender: TObject);
begin

```

```

if treeview1.Items[3].selected = true then begin
    typeFallingDrop.showmodal;
end;
if treeview1.Items[4].selected = true then begin
    typeFallingFilm.showmodal;
end;
if treeview1.Items[6].selected = true then begin
    typePackBeds.showmodal;
end;
if treeview1.Items[7].selected = true then begin
    typeBaffles.showmodal;
end;
if treeview1.Items[9].selected = true then begin
    typeSprays.showmodal;
end;
if treeview1.Items[10].selected = true then begin
    typeJets.showmodal;
end;
if treeview1.Items[13].selected = true then begin
    typeRisingBubbles.showmodal;
end;
if treeview1.Items[14].selected = true then begin
    typePerforatedPlates.showmodal;
end;
if treeview1.Items[16].selected = true then begin
    typeGasVaporJets.showmodal;
end;
if treeview1.Items[18].selected = true then begin
    typeLLFallingDrops.showmodal;
end;
if treeview1.Items[19].selected = true then begin
    typeAgitator.showmodal;
end;
if treeview1.Items[22].selected = true then begin
    typeFallingParticles.showmodal;
end;
if treeview1.Items[24].selected = true then begin
    typeFluidizedandPackedbeds.showmodal;
end;

```

```

if treeview1.Items[26].selected = true then begin
    typeMovingPackedbeds.showmodal;
    end;

end;

```

```

procedure TDirectContact.TreeView1Change(Sender: TObject; Node: TTreeNode);
begin
if (treeview1.Items[0].selected = true) or
    (treeview1.Items[1].selected = true) or
    (treeview1.Items[2].selected = true) or
    (treeview1.Items[5].selected = true) or
    (treeview1.Items[8].selected = true) or
    (treeview1.Items[11].selected = true) or
    (treeview1.Items[12].selected = true) or
    (treeview1.Items[15].selected = true) or
    (treeview1.Items[17].selected = true) or
    (treeview1.Items[20].selected = true) or
    (treeview1.Items[21].selected = true) or
    (treeview1.Items[23].selected = true) or
    (treeview1.Items[25].selected = true) then
    picture.Enabled:=false else
    picture.Enabled:=true;
end;

end.

```

```

unit Unit28;

```

```

interface

```

```

uses

```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;

```

```

type

```

```

    TWatercoolingtower = class(TForm)

```

```

Label1: TLabel;
Memo1: TMemo;
FDcounterflow: TLabel;
Idcounterflow: TLabel;
Idcrossflow: TLabel;
Ndcounterflow: TLabel;
Ndmixedflow: TLabel;
Ndcrossflow: TLabel;
Adcounterflow: TLabel;
Adcrossflow: TLabel;
Image1: TImage;
procedure Label1Click(Sender: TObject);
procedure FDcounterflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
  X, Y: Integer);
procedure IdcounterflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
  X, Y: Integer);
procedure IdcrossflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure NdcounterflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure NdmixedflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure NdcrossflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure AdcounterflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;
  X, Y: Integer);
procedure AdcrossflowMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
procedure FDcounterflowClick(Sender: TObject);
procedure IdcounterflowClick(Sender: TObject);
procedure IdcrossflowClick(Sender: TObject);
procedure NdcounterflowClick(Sender: TObject);
procedure NdmixedflowClick(Sender: TObject);
procedure NdcrossflowClick(Sender: TObject);
procedure AdcounterflowClick(Sender: TObject);
procedure AdcrossflowClick(Sender: TObject);
procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
private

```



```

    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Watercoolingtower: TWatercoolingtower;

implementation

uses Unit2, Unit29, Unit30, Unit31, Unit32, Unit33, Unit34, Unit35, Unit36;

{$R *.DFM}

procedure TWatercoolingtower.Label1Click(Sender: TObject);
begin
    Watercoolingtower.Hide;
    Typemenu.show;
end;

procedure TWatercoolingtower.FDcounterflowMouseMove(Sender: TObject;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    FDcounterflow.Transparent:=false;
    FDcounterflow.Font.Color:=clblack;
end;

procedure TWatercoolingtower.IdcounterflowMouseMove(Sender: TObject;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    Idcounterflow.Transparent:=false;
    Idcounterflow.Font.Color:=clblack;
end;

procedure TWatercoolingtower.IdcrossflowMouseMove(Sender: TObject;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    Idcrossflow.Transparent:=false;
    Idcrossflow.Font.Color:=clblack;
end;

```

end;

```
procedure TWatercoolingtower.NdcounterflowMouseMove(Sender: TObject;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  Ndcounterflow.Transparent:=false;
```

```
  Ndcounterflow.Font.Color:=clblack;
```

```
end;
```

```
procedure TWatercoolingtower.NdmixedflowMouseMove(Sender: TObject;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  Ndmixedflow.Transparent:=false;
```

```
  Ndmixedflow.Font.Color:=clblack;
```

```
end;
```

```
procedure TWatercoolingtower.NdcrossflowMouseMove(Sender: TObject;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  Ndcrossflow.Transparent:=false;
```

```
  Ndcrossflow.Font.Color:=clblack;
```

```
end;
```

```
procedure TWatercoolingtower.AdcounterflowMouseMove(Sender: TObject;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  Adcounterflow.Transparent:=false;
```

```
  Adcounterflow.Font.Color:=clblack;
```

```
end;
```

```
procedure TWatercoolingtower.AdcrossflowMouseMove(Sender: TObject;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
```

```
begin
```

```
  Adcrossflow.Transparent:=false;
```

```
  Adcrossflow.Font.Color:=clblack;
```

```
end;
```

```
procedure TWatercoolingtower.FDcounterflowClick(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```

    FDcounterflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.IdcounterflowClick(Sender: TObject);
begin
    Idcounterflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.IdcrossflowClick(Sender: TObject);
begin
    Idcrossflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.NdcounterflowClick(Sender: TObject);
begin
    Ndcounterflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.NdmixedflowClick(Sender: TObject);
begin
    Ndmixedflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.NdcrossflowClick(Sender: TObject);
begin
    Ndcrossflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.AdcounterflowClick(Sender: TObject);
begin
    Adcounterflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.AdcrossflowClick(Sender: TObject);
begin
    Adcrossflowform.showmodal;
end;

```

```

procedure TWatercoolingtower.Image1MouseMove(Sender: TObject);

```

```

Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    FDcounterflow.Transparent:=true;
    Idcounterflow.Transparent:=true;
    Idcrossflow.Transparent:=true;
    Ndcounterflow.Transparent:=true;
    Ndmixedflow.Transparent:=true;
    Ndcrossflow.Transparent:=true;
    Adcounterflow.Transparent:=true;
    Adcrossflow.Transparent:=true;

    FDcounterflow.Font.Color:=clyellow;
    Idcounterflow.Font.Color:=clwhite;
    Idcrossflow.Font.Color:=clwhite;
    Ndcounterflow.Font.Color:=claqua;
    Ndmixedflow.Font.Color:=claqua;
    Ndcrossflow.Font.Color:=claqua;
    Adcounterflow.Font.Color:=cllime;
    Adcrossflow.Font.Color:=cllime;
end;

end.

unit Unit32;

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    jpeg, ExtCtrls, StdCtrls;

type
    TNdcounterflowform = class(TForm)
        Image1: TImage;
        Memo1: TMemo;
        Label1: TLabel;
        procedure Label1Click(Sender: TObject);
    private

```

```

    { Private declarations }
public
    { Public declarations }
end;

var
    Ndcounterflowform: TNdcounterflowform;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TNdcounterflowform.Label1Click(Sender: TObject);
begin
    if label1.Caption='Detail close' then begin
        label1.Caption:='Detail open';
        memo1.Visible:=false;
        end else
    if label1.Caption='Detail open' then begin
        label1.Caption:='Detail close';
        memo1.Visible:=true;
        end;
end;

end.

```