

การออกแบบโครงข่าย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยคอมพิวเตอร์



นาย บุญเลี้ยง ชิมศรีสกุล

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-976-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015702

I 175190 29

COMPUTER-AIDED HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN

Mr. Boonliang Simsrisakul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Program of Petrochemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-976-2



Thesis Title : Computer-aided Heat Exchanger Network design

By : Mr. Boonliang Simsrisakul

Department : Petrochemical Technology

Thesis advisor : Associate Professor Dr. Wiwut Tanthapanichakoon

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

Thavorn Vajrabhaya..... Dean of Graduate school
(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

Pattarapan Prasassarakich..... Chairman
(Associate Professor Dr. Pattarapan Prasassarakich)

Wiwut Tanthapanichakoon..... Thesis Advisor
(Associate Professor Dr. Wiwut Tanthapanichakoon)

Kroekchai Sukanjanajtee..... Member
(Associate Professor Dr. Kroekchai Sukanjanajtee)

Woraphat Arthayukti..... Member
(Associate Professor Dr. Woraphat Arthayukti)



บุญเลี้ยง ชิมศรีสกุล : การออกแบบโครงข่าย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ (COMPUTER-AIDED HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 191 หน้า. ISBN 974-576-976-2

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบโครงข่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้พีซี เทคโนโลยีและกฎเกณฑ์อื่นที่กำหนดขึ้น โดยมีสมมุติฐานดังนี้

1. เงื่อนไขของขบวนการ เป็นที่ทราบค่าและไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของของไหลในระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อน
3. ไม่มีการสูญเสียความร้อน

โครงข่ายที่ออกแบบเบื้องต้นนี้จะถูกปรับปรุง ให้มีจำนวน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยลงด้วยการกำจัดลูปที่เกิดขึ้น

ผลการใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในการออกแบบโครงข่าย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าโครงข่ายที่ได้จากการออกแบบ เป็นโครงข่ายที่ใช้ความร้อนกลับคืนสูงสุด และจำนวน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้จะน้อยที่สุด หรือใกล้เคียงกับค่าที่น้อยที่สุดเป็นส่วนใหญ่

ภาควิชา ปิโตร-โพลี เมอร์

สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตร เคมี

ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต บุญเลี้ยง ชิมศรีสกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



BOONLIANG SIMSRISAKUL : COMPUTER-AIDED HEAT EXCHANGER NETWORK
 DESIGN. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D.
 191 pp. ISBN 974-576-976-2

The objective of this thesis is to develop necessary computer software for heat exchanger networks (HENs) synthesis, based on a combination of the pinch design method and heuristic rules. The software is developed under the following assumptions.

1. Process conditions are known and unchanged.
2. No change of phase of any fluid stream occurs during heat exchange.
3. Heat loss from exchangers to environment is negligible.

The obtained maximum-energy-recovery (MER) HEN is further improved by applying an evolutionary procedure to minimize the number of units, in which the program will automatically search for and break up primary loop up to the second-level.

Through actual applications of the software to various published examples, it has been shown that the MER networks obtained satisfy the minimum utility requirements while the HENs obtained by loop breaking successfully minimize the number of exchanger units in a majority of the examples studied. The thesis describes the general algorithm and features of the software and show some typical examples studied.

ภาควิชา วิศวกรรม-โพลีเมอร์
 สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี
 ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต มยุคลัง ชัยพรพงศ์
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ. อธิชา เหมนิกร
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his deepest gratitude to his advisor, Associate Professor Dr. Wiwut Tanthapanichakoon, for his helpful guidances and encouragements throughout the thesis. Thanks are also expressed to Associate Professor Dr. Pattarapan Prasassarakich, Associate Professor Dr. Kroechai Sukanjanajtee, Associate Professor Dr. Woraphat Arthayukti for their interests and suggestions.



Contents

	page
Abstract in Thai	iv
Abstract in English	v
Acknowledgement	vi
List of Tables	x
List of Figures	xi
 Chapter	
1. Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Objectives	3
1.3 Scope of Work	3
1.3.1 Capability of the developed computer software	3
1.3.2 Assumptions	4
1.4 Literature Survey	4
2. Pinch design method	10
2.1 Energy target	10
2.1.1 First law analysis	11
2.1.2 Prediction of energy targets using composite curve	12
2.1.2.1 Construction of composite curve .	15
2.1.3 Prediction of energy target using problem table method	18
2.1.4 Relation of minimum heating and cooling to the first law requirement	22

Chapter	page
2.2 Pinch design	22
2.2.1 Significance of the pinch	24
2.2.2 Grid representation	25
2.2.3 Criteria for pinch match	26
2.2.3.1 The number of process streams and branches	26
2.2.3.2 The heat capacity flowrate for individual matches	27
2.2.4 Algorithm for design at the pinch	30
2.3 Heuristic method for network design	30
2.3.1 Classification of heat exchanging streams	32
2.3.2 Design strategy	34
2.4 Example of heat exchanger network design	37
3. Threshold problems	48
4. Trading off energy against capital	51
4.1 Minimum number of units	51
4.2 Optimum ΔT_{min}	55
5. Treatment of loop in heat exchanger network	57
5.1 Loop level and loop identification	57
5.1.1 Loop identification procedure	59
5.2 Loop breaking procedure	59
5.2.1 Primary loop breaking	61
6. Economic analysis of heat exchanger networks	68
6.1 Capital cost	68
6.1.1 Heat exchanger cost	68
6.1.2 Piping cost and installation cost	71

Chapter	page
6.2	Calculation of annual cost 71
6.3	Calculation of payback period 72
6.4	Example of economic analysis 72
7.	Computer program for heat exchanger network design ... 77
7.1	Overview of the program 77
7.2	Assumptions used in the developed software 78
7.3	Limitations of the software 79
7.4	Program features 79
7.4.1	The PINCH.BAS module 79
7.4.2	The RMATCHA.BAS module 84
7.4.3	The RMATCHB.BAS module 90
7.4.4	The BLOOP.BAS module 93
7.4.5	The ECONOMIC.BAS module 93
8.	Example problem of the computer program to network design 97
9.	Conclusion 164
	References 167
	Appendix A. Heat Transfer Area 172
	Appendix B. Overall Heat Transfer Coefficient 173
	Appendix C. Utility Costs 174
	Appendix D. Summary of the designed networks 175
	Biography 191



List of Tables

Table	page
1.1 First results of applying pinch in Union Carbide	2
2.1 Data for example problem	11
2.2 Data for example 2-2	44
2.3 Problem table analysis	44
6.1 Matching results for the network shown in figure 5.5d	73
6.2 Required heat transfer area	74
6.3 Present costs of heat exchanger	75
8.1 Data for example 8-1	97
8.2 Data for example 8-2	106
8.3 Heating and cooling demands for ABCDE process	116
8.4 Data for example 8-4	131
8.5 Heat transfer areas of the existing exchanger in example 8-5	138
8.6 Data for example 8-6	155
9.1 Summary of the designed results	165



List of Figures

Figures	Page
2.1 Representation of process stream in the T/H diagram ..	13
2.2 Energy targets and the pinch with composite curves ...	14
2.3 Construction of composite curve	16
2.4 Graphical construction of composite curve	17
2.5 Temperature interval analysis	20
2.6 The heat cascade diagram	21
2.7 Composite curves of example problem	23
2.8 Effect of heat transfer across the pinch	25
2.9 Grid representation	26
2.10 Above the pinch streams	26
2.11 Feasible pinch match	28
2.12 Stream splitting at the pinch	29
2.13 Algorithm for design at the pinch	31
2.14 Heat transfer in the third category for pinch design	33
2.15 Heuristic procedure for above-the-pinch design	35
2.16 Heuristic procedure for below-the-pinch design	36
2.17 The CP table for above-the-pinch design	38
2.18 Above-the-pinch design structure	39
2.19 CP table for below-the-pinch design	40
2.20 Below-the-pinch design	42
2.21 A minimum utility designed network	42
2.22 Above-the-pinch design	46
2.23 Final network structure	46
3.1 Threshold problem	49

Figure	page
4.1 Principle of subsets and loops	52
4.2 Showing two heat load loops	54
4.3 Network cost as a function of ΔT_{min}	55
5.1 Example for identification of loop level	58
5.2 Loop searching procedure	60
5.3 Primary loop breaking	62
5.4 Example of merging process	63
5.5 Example for primary loop breaking	65
6.1 Reference cost of heat exchangers	70
7.1 Simplified overall flowchart of the developed program	80
7.2 Flowchart of the PINCH.BAS module	81
7.3 Typical interchange in a subnetwork constrained by restricted matches	83
7.4 Design at pinch (above the pinch)	85
7.5 Naming of split and recombined points	86
7.6 Recombination of split streams (above the pinch)	89
7.7 Design at pinch (below the pinch)	91
7.8 Flowchart of the BLOOP.BAS module	94
7.9 Flowchart of the ECONOMIC.BAS module	95
8.1 Composite curves for example 8-1	100
8.2 Grid representation for M.E.R. network of example 8-1	101
8.3 Composite curves for example 8-2	109
8.4 Grid representation for M.E.R. and final network of example 8-2	111
8.5 Flow diagram of the ABCDE process	115
8.6 Composite curves for example 8-3	120

Figure	page
8.7 Grid representation for M.E.R. network of example 8-3	122
8.8 Evolved network structure of example 8-3	125
8.9 Flowsheet for the dehydration of isopropanol with isopropyl ether	130
8.10 Composite curves for example 8-4	134
8.11 Designed network configuration for example 8-4	136
8.12 The grid diagram for an existing network	138
8.13 Composite curves for example 8-5	142
8.14 Initial M.E.R. design for example 8-5	143
8.15 Designed network for example 8-5	146
8.16 Network obtained under unrestricted conditions for example 8-6	156
8.17 Composite curves for example 8-6	159
8.18 Network obtained under restricted match condition ...	162