การออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่นของกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน

นาย อลงกรณ์ พลอยไพศาลแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-4307-6
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN OF HYDRODEALKYLATION PROCESS

Mr. Alongkorn Ploypaisansang

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4307-6

Thesis Title	RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN OF HYDRODEALKYLATION PROCESS
By	Mr. Alongkorn Ploypaisansang
Field of study	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Montree Wongsri, D. Sc.

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

.....Dean of Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph. D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Professor Piyasan Praserthdam, Dr. Ing.)

..... Thesis Advisor
(Montree Wongsri, D. Sc.)

..... Member
(Associate Professor Paisan Kittisupakorn, Ph. D.)

..... Member
(Suphot Phatanasri, D. Eng.)

อลงกรณ์ พลอยไพศาลแสง : การออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่นของกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน (RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN OF HYDRODEALKYLATION PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ดร.มนตรี วงศ์ศรี, จำนวนหน้า 114 หน้า. ISBN 974-17-4307-6

การนำกลับมาใช้อีกครั้งของพลังงานโดยผ่านข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในกระบวนการเคมี การแลกเปลี่ยนพลังงานภายในกระบวนการจะทำให้เกิดผลกระทบซึ่งกันและกันภายในกระบวนการและก่อความยุ่งยากในการรักษาอุณหภูมิเป้าหมายอีกด้วย ดังนั้นเพื่อทำให้ข่ายงานบรรลุเป้าหมาย (อุณหภูมิเป้าหมาย และการนำกลับคืนพลังงานสูงสุด) การออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่นซึ่งสามารถจัดการกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบยืดหยุ่นของ Wongsri (1990) มาใช้ออกแบบข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ยืดหยุ่นสำหรับกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน ในปัญหาข่ายงานที่เป็นแบบคลาส I โดยอาศัยแนวทางฮิวริสติก ซึ่งได้แก่ กฎทั่ว ๆ ไปในการออกแบบ กฎที่เกี่ยวกับกระสวนการจับคู่ เทคนิคการส่งผ่านความแปรปรวน เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบ ทางเลือกข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 6 ของกระบวนการไฮโดรดิอัลคิเลชัน ให้เป็นข่ายงานที่ยืดหยุ่นสำหรับการรักษาอุณหภูมิเป้าหมาย และยังคงค่าการนำพลังงานกลับคืนสูงสุด (MER) อีกด้วย และนำพารามิเตอร์ความยืดหยุ่นของข่ายงานยืดหยุ่นที่ออกแบบได้ มาใช้เปรียบเทียบและเลือกข่ายงานที่ดีที่สุดเพียงข่ายงานเดียวสำหรับแต่ละทางเลือก จากงานวิจัยนี้พบว่า การจะได้ข่ายงานที่ยืดหยุ่นสำหรับบางข่ายงานนั้น จำเป็นต้องแลกด้วยการลงทุนที่มากขึ้น โดยจำเป็นต้องติด หน่วยออกซิเลียรี(Auxiliary) ลงในข่ายงานเพื่อการจัดการกับความแปรปรวนที่สะดวกปลอดภัยและง่ายต่อการออกแบบโครงสร้างการควบคุมต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา	2546	

4370618821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: HEAT EXCHANGER NETWORK / HYDRODEALKYLATION

ALONGKORN PLOYPAISANSANG: RESILIENT HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN OF HYDRODEALKYLATION PROCESS. THESIS ADVISOR: MONTREE WONGSRI, D. Sc., 114 pp. ISBN 974-17-4307-6

Energy recovery by heat exchanger network is the important stage in chemical process. The energy integration causes to the interactions and may cause the process more difficult to maintain the target temperature. Therefore, in order to achieve maximum energy recovery and keep target temperatures at their desirable value, the resilient heat exchanger network that can tolerate variations are important.

This research, the resilient heat exchanger network design procedure provided by Wongsri (1990) is use to design resilient network for the Hydrodealkylation process (HDA Process) in Class I problem. The match pattern heuristic, shift approach and the heat load propagation technique are essential approach. Six alternatives for the HDA process are redesign to be the resiliency networks for maintain target temperature and also reached maximum energy recovery (MER). The Resiliency Parameters of resilient networks are required to compare and selected the best resilient network. In order to receive resilient network, a trade-off between cost and resiliency may be needed. The Auxiliary unit should be added in the network for cope safely with the variations and easy to design control structure to the network.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Chemical Engineering
Field of Study of Chemical Engineering
Academic year 2003

Student's signature Alongkorn Ploypaisansang
Advisor's signature Montree Wongsri

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thanks and expresses my sincere gratitude to Dr. Montree Wongsri, my advisor, for his valuable suggestions, encouraging guidance and genius supervision throughout my master program. I am grateful to Professor Piyasan Praserthdam, chairman of thesis committee, Associate Professor Paisan Kittisupakorn and Dr. Supoj Patthanasri members of thesis committees for many valuable suggestions.

My work has been carried out by helped of my colleagues, process control laboratory members, and all those who encouraged during my study.

Most of all, I would like to express my sincere indebtedness to my parents, and everyone in my family for their inspiration, encouragement and financial support throughout this study.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

PAGE

ABSTRACT (IN THAI).....iv

ABSTRACT (IN ENGLISH).....v

ACKNOWLEDGEMENTS.....vi

CONTENTS.....vii

LIST OF TABLES.....x

LIST OF FIGURES.....xii

NOMENCLATURE.....xiv

CHAPTER

I. INTRODUCTION.....1

1.1 Background.....1

1.2 Research Objectives.....2

1.3 Scope of Research.....3

1.4 Contribution of Research.....3

1.5 Activity Plan.....3

1.6 Research Framework.....4

II. LITERATURE REVIEW

2.1 Problem Definition.....5

2.2 Conventional Design Methods.....6

2.2.1. Preanalysis.....6

2.2.2. Network Generation.....7

2.2.2.1. Optimization Techniques.....7

2.2.2.2. Heuristic Methods.....8

2.3. Resilient Heat Exchanger Network.....10

2.3.1. Problem Classes.....10

2.3.2. Meaning of Resiliency.....11

2.3.3. Resiliency Analysis.....11

2.4. Resilient Network Design.....12

2.4.1. Combination of Designs.....13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS (Continued)

PAGE

CHAPTER

2.4.2. Drawbacks of Design Combination Methods.....16
2.4.3. Direct Resilient Network Design.....16

III. THEORY.....20
3.1 Introduction.....20
3.2 HEN Resiliency.....22
3.2.1. Definition of HEN Resiliency.....22
3.2.2. HEN Resiliency Measurements.....23
3.2.3. HEN Resiliency Targeting.....25
3.2.4. Shift Approach.....25
3.3. Problem Classification.....26
3.4 The RHEN Design Method.....26
3.4.1 Heuristics.....27
3.4.2 Position of a Match.....29
3.4.3 Heat Load.....29
3.4.4 Residual Heat Load.....29
3.5. Physical Approach.....30
3.5.1 Design Conditions.....33
3.5.2 Match Patterns.....34
3.5.3. Derivative Match Patterns.....38
3.5.4. Resilient Match Patterns.....39
3.5.5 Disturbance Propagation Design Method.....39
3.5.6. Stream Partitioning Procedure.....42
3.5.7. Flowrate Variations.....43
3.6. Network Resiliency.....44
3.6.1 Resiliency Requirement Test.....45
3.6.1.1 Temperature Disturbance.....45
3.6.1.2 Flowrate Disturbance.....46
3.6.2 Match Operators.....47

CONTENTS (Continued)

PAGE

CHAPTER

IV. PROCESS AND DESIGN.....49

4.1 Introduction.....49

4.2 The Synthesis Procedure.....50

4.3 The Resilience Index.....52

4.4 The Hydrodealkylation Process.....56

4.5 The Alternatives.....60

4.6 Economics.....64

V. RESULT.....67

5.1 Introduction.....67

5.2 The Alternative 1.....67

5.3 The Alternative 2.....69

5.4 The Alternative 3.....70

5.5 The Alternative 4.....73

5.6 The Alternative 5.....76

5.7 The Alternative 6.....81

5.8 Testing the Networks.....88

VI. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....96

6.1 Conclusions.....96

6.2 Recommendations.....99

REFERENCES.....100

APPENDICES.....107

Appendix A.....108

Appendix B.....110

Appendix C.....111

Appendix D.....113

VITA.....114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

PAGE

Table 3.1 Match Pattern Operators of Class A and B.....37
Table 3.2 Match Pattern Operators of Class C and D.....38
Table 3.3 Match Operators I.....47
Table 3.4 Match Operators II.....48
Table 4.1 Effect of load shifts on the load and resilience parameter of and exchanger.....54
Table 4.2 Process Stream Data, Part 1.....58
Table 4.3 Process Stream Data, Part 2.....58
Table 4.4 Process Stream Data, Part 3.....58
Table 4.5 Process Stream Data, Part 4.....58
Table 4.6 Equipment Data and Specifications.....59
Table 4.7 Heat Transfer Rates.....60
Table 5.1 The Information of HDA Process.....67
Table 5.2 Problem Table for Alternative 1 and 2.....68
Table 5.3 Synthesis Table for cold end of Alternative 1 and 2.....68
Table 5.4 Synthesis Table for hot end of Alternative 1 and 2.....68
Table 5.5 Problem Table for Alternative 2 and 3.....69
Table 5.6 Synthesis Table for hot end of Alternative 2 and 3.....70
Table 5.7 Problem Table for Alternative 3.....71
Table 5.8 Synthesis Table for cold end of Alternative 3.....71
Table 5.9 Synthesis Table for hot end of Alternative 3.....72
Table 5.10 Problem Table for Alternative 4.....73
Table 5.11 Synthesis Table for cold end of Alternative 4, 5 and 6.....74
Table 5.12 Synthesis Table 1 for hot end of Alternative 4.....74
Table 5.13 Synthesis Table 2 for hot end of Alternative 4.....74
Table 5.14 Problem Table for Alternative 5.....76
Table 5.15 Synthesis Table 1 for hot end of Alternative 5.....77
Table 5.16 Synthesis Table 2 for hot end of Alternative 5.....77
Table 5.17 Synthesis Table 3 for hot end of Alternative 5.....78
Table 5.18 Synthesis Table 4 for hot end of Alternative 5.....78

LIST OF TABLES (Continued)

PAGE

Table 5.19 Problem Table for Alternative 6.....81
Table 5.20 Synthesis Table 1 for hot end of Alternative 6.....82
Table 5.21 Synthesis Table 2 for hot end of Alternative 6.....82
Table 5.22 Synthesis Table 3 for hot end of Alternative 6.....83
Table 5.23 Synthesis Table 4 for hot end of Alternative 6.....84
Table 5.24 Synthesis Table 5 for hot end of Alternative 6.....84
Table 5.25 Synthesis Table 6 for hot end of Alternative 6.....85
Table 5.26 The Resiliency and Utilities usage for the resilient networks.....90
Table A.1 The data for design networks in Alternative 1.....108
Table A.2 The data for design networks in Alternative 2.....108
Table A.3 The data for design networks in Alternative 3.....108
Table A.4 The data for design networks in Alternative 4.....109
Table A.5 The data for design networks in Alternative 5.....109
Table A.6 The data for design networks in Alternative 6.....109
Table A.7 The Disturbance inlet Conditions.....109
Table B.1 The Cost of Equipment.....110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

PAGE

Figure 3.1 Class A Match Pattern.....36
Figure 3.2 Class B Match Pattern.....36
Figure 3.3 Class C Match Pattern.....36
Figure 3.4 Class D Match Pattern.....36
Figure 3.5 A Concept of Propagated Disturbance.....41
Figure 3.6 A General Concept of Propagated Disturbance.....41
Figure 3.7 Description of Disturbances.....43
Figure 3.8 Description of Pinch Disturbance for a Cold Stream.....43
Figure 4.1 A Pinch Match on the Propagated Disturbance Concept.....51
Figure 4.2 HDA Process Flowsheet.....59
Figure 4.3 Alternative 1 For the HDA Process.....60
Figure 4.4 Alternative 2 For the HDA Process.....61
Figure 4.5 Alternative 3 For the HDA Process.....61
Figure 4.6 Alternative 4 For the HDA Process.....62
Figure 4.7 Alternative 5 For the HDA Process.....62
Figure 4.8 Alternative 6 For the HDA Process.....63
Figure 5.1 Heat Exchanger Network of Alternative 1.....68
Figure 5.2 Resilient Heat Exchanger Network of Alternative 1.....69
Figure 5.3 Heat Exchanger Network of Alternative 2.....69
Figure 5.4 Resilient Heat Exchanger Network of Alternative 2.....70
Figure 5.5 Heat Exchanger Network of Alternative 3.....71
Figure 5.6 Resilient Heat Exchanger Network of Alternative 3.....72
Figure 5.7 Heat Exchanger Network of Alternative 4.....73
Figure 5.8 Resilient Heat Exchanger Network 4.1 of Alternative 4.....75
Figure 5.9 Resilient Heat Exchanger Network 4.2 of Alternative 4.....75
Figure 5.10 Heat Exchanger Network of Alternative 5.....76
Figure 5.11 Resilient Heat Exchanger Network 5.1 of Alternative 5.....79
Figure 5.12 Resilient Heat Exchanger Network 5.2 of Alternative 5.....79
Figure 5.13 Resilient Heat Exchanger Network 5.3 of Alternative 5.....80

LIST OF FIGURES (Continued)

PAGE

Figure 5.14 Resilient Heat Exchanger Network 5.4 of Alternative 5.....80
Figure 5.15 Heat Exchanger Network of Alternative 6.....81
Figure 5.16 Resilient Heat Exchanger Network 6.1 of Alternative 6.....86
Figure 5.17 Resilient Heat Exchanger Network 6.2 of Alternative 6.....86
Figure 5.18 Resilient Heat Exchanger Network 6.3 of Alternative 6.....87
Figure 5.19 Resilient Heat Exchanger Network 6.4 of Alternative 6.....87
Figure 5.20 Resilient Heat Exchanger Network 6.5 of Alternative 6.....87
Figure 5.21 Resilient Heat Exchanger Network 6.6 of Alternative 6.....88
Figure 5.22 The Process Flowchart for Alternative 1.....91
Figure 5.23 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 1.....91
Figure 5.24 The Process Flowchart for Alternative 2.....91
Figure 5.25 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 2.....92
Figure 5.26 The Process Flowchart for Alternative 3.....92
Figure 5.27 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 3.....92
Figure 5.28 The Process Flowchart for Alternative 4.....93
Figure 5.29 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 4.....93
Figure 5.30 The Process Flowchart for Alternative 5.....93
Figure 5.31 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 5.....94
Figure 5.32 The Process Flowchart for Alternative 6.....94
Figure 5.33 The disturbance load propagation for the best resilient network of Alternative 6.....95
Figure C.1 Disturbance load propagation for the network of Alternative 4.....111
Figure C.2 Use of upstream unit for controlling non-resilient network 111
Figure C.3 Use of Feed forward Control for Class C.....112
Figure C.4 Use of Feed forward Control for Class D.....112

NOMENCLATURES

A = *Heat Exchanger Area*

C = *Cold Stream in Network*

C_p = *Heat Capacity*

D = *Disturbance*

E = *Exchanger*

H = *Hot Stream*

L = *Load of Stream*

N = *Number of Heat Exchanger*

N_{HX} = *Number of Heat Exchanger in Network*

N_p = *Number of Pinch Stream*

N_{UX} = *Number of Utility in Network*

N_y = *Number of all Stream*

Q = *Quantity of Heat Load in Heat Exchanger*

R = *Resiliency*

RI = *Resilience Index*

T = *Temperature of Stream*

ΔT_{min} = *Approach Temperature*

U = *Heat Transfer Coefficient*

V = *volume*

W = *Heat capacity Flowrate*

ε = *Effectiveness*

ρ = *Density*

τ = *Time Constant*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Subscript

c = *Cold Stream*

h = *Hot Stream*

i = *Inlet or Stream i*

o = *Outlet*

S =*Smaller One*

L =*Larger One*

Superscript

c = *Cold Stream*

h = *Hot Stream*

s =*Supply*

t =*Target*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย