العنوان:	PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE
المؤلف الرئيسي:	Ibrahim, Nasiru Ishaq
مؤلفين آخرين:	Al Farayedhi, Abd Alghani Abd Allah(Author)
التاريخ الميلادي:	2013
موقع:	الظهران
الصفحات:	1 - 176
رقم MD:	649521
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	English
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الكلية:	عمادة الدراسات العليا
الدولة:	السعودية
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	تكييف الهواء، المكثفات، الهندسة الميكانيكية
رابط:	https://search.mandumah.com/Record/649521

ABSTRACT (ENGLISH)

Full Name : Nasiru Ishaq Ibrahim

Thesis Title : Performance Improvement of a Vapor Compression Air Conditioning System by Condensate and Fresh Water Source.

Major Field : Mechanical Engineering

Date of Degree : Safar, 1435, December, 2013

Considerable amount of electrical energy produced in the Kingdom of Saudi Arabia is consumed by air conditioning systems. In addition, water scarcity still exists in most of the arid and semi-arid countries. This thesis presents the outcome of a study conducted to bring down energy consumption and improve the performance of a vapor compression air conditioning system using condensate that is generated by the system. The base system used in the study is a 1.5 ton split type air conditioner. Three different options of system modifications are adopted to improve its performance. The three options are: option 'A'- air precooling before entering the evaporator using condensate, option 'B'- precooling the air entering the condenser by condensate and option 'C'- subcooling the refrigerant exiting the condenser using the condensate. Comparative study of the base system and the modified system is carried out. The results show that precooling the air entering the evaporator and condenser using condensate lowers the compressor discharge pressure. The discharge pressure also decreased significantly when subcooling is applied. The decrease in the discharge pressure resulted in the decrease in compressor power consumption to about 5% for option 'A', 4.8 % for option 'B' and 3.7% for option 'C' from experiments conducted for severest weather conditions. The severest weather conditions are 36 ^{o}C dry bulb temperature and 80% relative humidity obtained from the climate data of four major cities of Saudi Arabia. By decreasing the discharge pressure, the compressor's life expectancy can be improved. The coefficient of performance, COP is increased by about 30 %, 21% and 30% for options 'A', 'B' and 'C', respectively. The increase in the second law efficiencies obtained for options 'A', 'B', and 'C' are 24.85, 23.51 and 21.53%, respectively. The overall assessment of the three options is that option 'A' gives better system performance improvement followed by option 'B', then option

'C'. The rate of condensate extraction from the air conditioning system is studied and chemical analysis is carried out on the condensate sample to determine its quality. The amounts of condensate collected in Dhahran from the base system during the humid and hottest months of June, July, August and September are 1036, 1181, 2173 and 1781 kg, respectively, and these amounts are obtained experimentally on hourly basis. Analytical results of condensate extraction obtained by using hourly actual climate data are in good agreement with the experimental results. Condensate chemical analysis is conducted and the results are compared with the recommended guideline values of drinking water by World Health Organization. The Chemical analysis reveals that the condensate can be used as drinking water after undergoing simple bacterial removal process. It can also be used to improve the performance air conditioning systems and other applications such as cooling tower make up water and irrigation.

ABSTRACT (ARABIC)

الاسم الكامل: ناسيرو اسحاق ابراهيم

عنوان الرسالة: تحسين أداء أنظمة التكييف العاملة بضغط البخار باالتكثيف ومصدر مياه عذب

التخصص: هندسة ميكانيكية

تاريخ الدرجة العلمية:سفر1435. ديسيمبر 2013

يتم إستهلاك كميات كبيرة من الطاقة الكهربية المنتجة في المملكة العربية السعودية من قبل أنظمة التكييف. ومن جهة أخرى، لا تزال ندرة المياه موجودة في معظم البلدان القاحلة وشبه القاحلة. تقدم هذه الأطروحة نتائج دراسة أجريت لتقليل استهلاك الطاقة وتحسين أداء أنظمة التكييف التي تعمل بطريقة ضغط الغاز باستخدام البخار المكثف الناتج من قبل نظام التكييف. والنظام الأساسي المستخدم في هذه الدراسة هو مكيف هواء مشقوق بسعة 1.5 طن. . تم اعتماد ثلاثة خيارات مختلفة لتحسين أداء النظام و تقليل استهلاك الطاقة. الخيارات الثلاثة هي: الخيار "أ"، تبريد الهواء قبل دخوله المبخر باستخدام مكثف. الخيار "ب"، تبريد باستخدام مكثف. التكثيف ز الخيار "ج "تبريد الغاز المبرِد الخارج من المكثف الهواء قبل دخوله المبخر باستخدام التكثيف. تم عمل دراسة مقارنة للنظام الاساسى وانظام المعدل .اظهرت النتائج ان عملية التبريد المسبق للهواء قبل المبخر والمكثف باستخدام مكثف. وقللت عملية التبريد المسبقة للهواء الداخل للمبخر والمكثف باستخدام الماء المكثف من ضغط التصريف للضاغط . أيضاً بشكل ملحوظ عندما تم تبريد الغاز المبرِد لأقل من درجة الغليان. وأدى إنخفاض ضغط التصريف للمضخة إلى إنخفاض استهلاك الطاقة في المضخة إلى حوالي 5٪ للخيار "أ" ، و4.8 ٪ للخيار "ب"، و 3.7 ٪ للخيار "ث" الظروف المناخية الحادة هى 36 درجة مئوية و 80% رطوبة نسبية ماخوذة من بيانات الطقس للاربع مدن الرئيسية فى المملكة العربية السعودية. ومن خلال خفض ضغط التصريف، يمكن تحسين متوسط العمر المتوقع للمضخة. وتم زيادة معامل الأداء (COP) بنحو 31 ٪ ، 21 ٪ و 30 ٪ للخيارات "أ" و"ب" و"ث" على التوالي. وكانت الزيادة في الكفاءة للقانون الثاني للخيارات "أ" و"ب" و"ث" هي 24.85، 23.51، و21.53 ٪ على التوالي. وتبين من التقييم العام للخيارات الثلاثة أن الخيار "أ" يعطي أفضل تحسين لأداء النظام، يليها الخيار "ب" ثم الخيار "ث". وتم دراسة معدل استخراج الماء المكثف من نظام تكييف الهواء الذي يعتبر مصدرا إضافياً للماء بالإضافة إلى تحليله كيميائياً لتحديد درجة نقائه. وكانت كمية الماء المكثف من خلال النظام في منطقة الظهران خلال الأشهر يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر هي 1036, 1076 ، 1181، 2173، و1781 كجم على التوالي، وتم جمع هذه الكميات في التجربة كل ساعة. وكانت النتائج التحليلية لعملية التكثيف والتي تم حسابها لكل ساعة باستخدام البيانات المناخية الفعلية في إتفاق جيد مع النتائج التجريبية. تم اجراء التحاليل الكيميائية والتى تمت مقارنة نتائجها مع الموصى بها للماء المقطر من منظمة الصحة . أظهرت التحاليل الكيميائية الماء المكثف أنه يمكن استخدامه على أنه ماء مقطر بعد عملية ازالة البكتيريا ، وايضا يمكن استخدامه لتحسين اداء انظمة وتطبيقات تكييف الهواء كما فتعويض مياه أبراج التبريد،والري.

VITAE

Name	: Nasiru Ishaq. Ibrahim
Nationality	: Nigeria
Date of Birth	: 20/12/1981
Email	: nasir1301@yahoo.com
Academic Background	: **M.S. Mechanical Engineering, 2013** King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. **B.Sc. Mechanical Engineering, 2009** Bayero University Kano, Nigeria.
Publications	Abdulghani. A. Al-Farayedhi, Nasiru I. Ibrahim, P. Gandhidasan, **"A Novel Technique for Reducing Cooling Load of an Air Conditioning System Operating in Hot and Humid Climates"** *Proceedings of the ASME 2013 Summer Heat Transfer Conference, Minneapolis MN, July 14 – 19 USA*, DOI: 10.1115/HT2013-17712, pp.v002T04H025-;8 pages.

العنوان:	PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE
المؤلف الرئيسي:	Ibrahim, Nasiru Ishaq
مؤلفين آخرين:	Al Farayedhi, Abd Alghani Abd Allah(Author)
التاريخ الميلادي:	2013
موقع:	الظهران
الصفحات:	1 - 176
رقم MD:	649521
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	English
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الكلية:	عمادة الدراسات العليا
الدولة:	السعودية
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	تكييف الهواء، المكثفات، الهندسة الميكانيكية
رابط:	https://search.mandumah.com/Record/649521

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

NOMENCLATURE

A	area (m^2)
ADP	apparatus dew point
ARI	Air Conditioning and Refrigeration Institute
COP	coefficient of performance
C_p	specific heat capacity (kJ/kg-K)
$\dot{C}$	heat capacity rate (kW/K)
D	diameter (m)
dp	dew point
EER	energy efficiency rating
f''	fouling factor (W/K)
h	specific enthalpy (kJ/kg-K)
$\tilde{h}$	convective heat transfer coefficient (W/m^2-K)
k	thermal conductivity (W/m-K)
L	length (m)
NTU	number of transfer unit
M	mass of condensate in the storage tank (kg)
$\dot{m}$	mass flow rate, kg/s
P	pressure (kPa)
$\dot{Q}$	rate of heat transfer (kW)

T	temperature (^{o}C or K)
t	time (s or h)
UA	conductance (W/K)
WHO	World Health Organization
$\dot{W}$	rate of work (kW)

Greek Symbols

Δ	difference
ε	effectiveness
ϕ	relative humidity
η	efficiency
ω	specific humidity
δ	uncertainty value

Subscripts

a	air
avg	average
com	compressor
c	condenser, condensate
e	exit
ev	evaporator
f	fin
H	high
i	inside, initial, inlet
i,e	instrument error

L	low
max	maximum
min	minimum
o	outside
pc	precooler
r	refrigerant
r,e	random error
s	isentropic, surface
sat	saturated
sc	subcooler
sf	fin surface
t	tube
tot	total
w	water

العنوان:	PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE
المؤلف الرئيسي:	Ibrahim, Nasiru Ishaq
مؤلفين آخرين:	Al Farayedhi, Abd Alghani Abd Allah(Author)
التاريخ الميلادي:	2013
موقع:	الظهران
الصفحات:	1 - 176
رقم MD:	649521
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	English
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الكلية:	عمادة الدراسات العليا
الدولة:	السعودية
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	تكييف الهواء، المكثفات، الهندسة الميكانيكية
رابط:	https://search.mandumah.com/Record/649521

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE

BY

NASIRU ISHAQ IBRAHIM

A Thesis Presented to the

DEANSHIP OF GRADUATE STUDIES

KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS

DHAHRAN, SAUDI ARABIA

In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of

MASTER OF SCIENCE

In

MECHANICAL ENGINEERING

SAFAR 1435

DECEMBER 2013

KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS

DHAHRAN- 31261, SAUDI ARABIA

DEANSHIP OF GRADUATE STUDIES

This thesis, written by **Nasiru Ishaq Ibrahim** under the direction of his thesis advisor and approved by his thesis committee, has been presented to and accepted by the Dean of Graduate Studies, in partial fulfillment of the requirements for the degree of **MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING.**

Thesis Committee

Dr. Abdulghani Al-Farayedhi
Advisor

Dr. P. Gandhidasan
Member

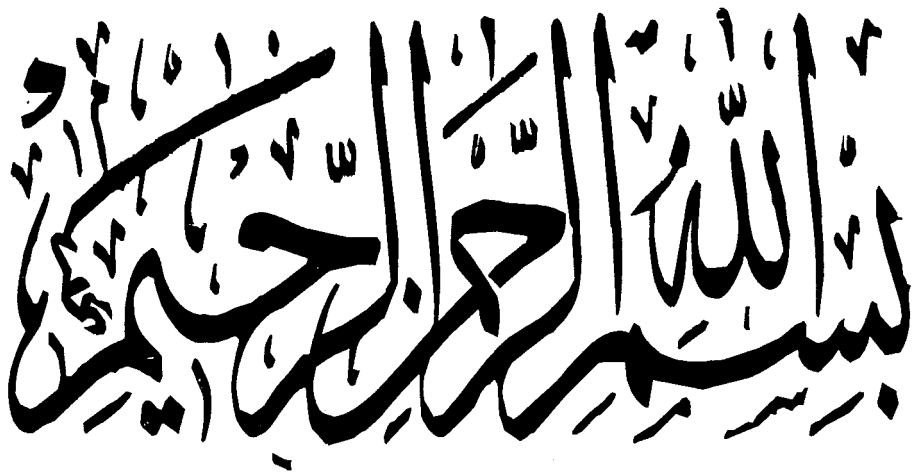
Dr. Abdelsalam Al-Sarkhi
Member

Dr. Zuhair M. Gasem
Department Chairman

Dr. Salam A. Zummo
Dean of Graduate Studies

26/12/13
Date

عمادة الدراسات العليا
DEANSHIP OF GRADUATE STUDIES



Dedicated

To My Parents and Family

ACKNOWLEDGMENTS

"In the name of Allah, The Most Gracious and The Most Merciful"

All praises are due to Almighty Allah for sparing my life and making this thesis successful. I would like to express my sincere appreciation and thanks to my thesis advisor, Dr. Abdulghani Al-Farayedhi and my thesis committee members, Dr. P. Gandhidasan and Dr. Abdelsalam Al-Sarkhi for their support, guidance and constructive advice which really help me to actualized this task successfully.

My special thanks to Mr. Mohammed Karam and Mr. Sayed Younus for their technical support throughout this work. I highly acknowledge and appreciate the financial support of the thesis research by King Abdul-Aziz City for Science and Technology (KACST) through the project # DRP-5-11 as a part of the project. Moreover, the opportunity given to me to pursue MS program and the facilities provided by KFUPM are highly appreciated.

I am very grateful to the entire Nigerian/African community in Eastern Province for their memorable company, help and support during my MS degree at KFUPM. I highly appreciate the moral support, encouragement and prayers by my mother and father (late) throughout my life. Finally, special thanks to my wife, brothers, sisters and all my family members for their prayers and encouragement.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

NOMENCLATURE

A	area (m^2)
ADP	apparatus dew point
ARI	Air Conditioning and Refrigeration Institute
COP	coefficient of performance
C_p	specific heat capacity (kJ/kg-K)
$\dot{C}$	heat capacity rate (kW/K)
D	diameter (m)
dp	dew point
EER	energy efficiency rating
f''	fouling factor (W/K)
h	specific enthalpy (kJ/kg-K)
$\tilde{h}$	convective heat transfer coefficient (W/m^2-K)
k	thermal conductivity (W/m-K)
L	length (m)
NTU	number of transfer unit
M	mass of condensate in the storage tank (kg)
$\dot{m}$	mass flow rate, kg/s
P	pressure (kPa)
$\dot{Q}$	rate of heat transfer (kW)

T	temperature (^{o}C or K)
t	time (s or h)
UA	conductance (W/K)
WHO	World Health Organization
$\dot{W}$	rate of work (kW)

Greek Symbols

Δ	difference
ε	effectiveness
ϕ	relative humidity
η	efficiency
ω	specific humidity
δ	uncertainty value

Subscripts

a	air
avg	average
com	compressor
c	condenser, condensate
e	exit
ev	evaporator
f	fin
H	high
i	inside, initial, inlet
i,e	instrument error

L	low
max	maximum
min	minimum
o	outside
pc	precooler
r	refrigerant
r,e	random error
s	isentropic, surface
sat	saturated
sc	subcooler
sf	fin surface
t	tube
tot	total
w	water

ABSTRACT (ENGLISH)

Full Name : Nasiru Ishaq Ibrahim

Thesis Title : Performance Improvement of a Vapor Compression Air Conditioning System by Condensate and Fresh Water Source.

Major Field : Mechanical Engineering

Date of Degree : Safar, 1435, December, 2013

Considerable amount of electrical energy produced in the Kingdom of Saudi Arabia is consumed by air conditioning systems. In addition, water scarcity still exists in most of the arid and semi-arid countries. This thesis presents the outcome of a study conducted to bring down energy consumption and improve the performance of a vapor compression air conditioning system using condensate that is generated by the system. The base system used in the study is a 1.5 ton split type air conditioner. Three different options of system modifications are adopted to improve its performance. The three options are: option 'A'- air precooling before entering the evaporator using condensate, option 'B'- precooling the air entering the condenser by condensate and option 'C'- subcooling the refrigerant exiting the condenser using the condensate. Comparative study of the base system and the modified system is carried out. The results show that precooling the air entering the evaporator and condenser using condensate lowers the compressor discharge pressure. The discharge pressure also decreased significantly when subcooling is applied. The decrease in the discharge pressure resulted in the decrease in compressor power consumption to about 5% for option 'A', 4.8 % for option 'B' and 3.7% for option 'C' from experiments conducted for severest weather conditions. The severest weather conditions are 36 ^{o}C dry bulb temperature and 80% relative humidity obtained from the climate data of four major cities of Saudi Arabia. By decreasing the discharge pressure, the compressor's life expectancy can be improved. The coefficient of performance, COP is increased by about 30 %, 21% and 30% for options 'A', 'B' and 'C', respectively. The increase in the second law efficiencies obtained for options 'A', 'B', and 'C' are 24.85, 23.51 and 21.53%, respectively. The overall assessment of the three options is that option 'A' gives better system performance improvement followed by option 'B', then option

'C'. The rate of condensate extraction from the air conditioning system is studied and chemical analysis is carried out on the condensate sample to determine its quality. The amounts of condensate collected in Dhahran from the base system during the humid and hottest months of June, July, August and September are 1036, 1181, 2173 and 1781 kg, respectively, and these amounts are obtained experimentally on hourly basis. Analytical results of condensate extraction obtained by using hourly actual climate data are in good agreement with the experimental results. Condensate chemical analysis is conducted and the results are compared with the recommended guideline values of drinking water by World Health Organization. The Chemical analysis reveals that the condensate can be used as drinking water after undergoing simple bacterial removal process. It can also be used to improve the performance air conditioning systems and other applications such as cooling tower make up water and irrigation.

ABSTRACT (ARABIC)

الاسم الكامل: ناسيرو اسحاق ابراهيم

عنوان الرسالة: تحسين أداء أنظمة التكييف العاملة بضغط البخار باالتكثيف ومصدر مياه عذب

التخصص: هندسة ميكانيكية

تاريخ الدرجة العلمية:سفر1435. ديسيمبر 2013

يتم إستهلاك كميات كبيرة من الطاقة الكهربية المنتجة في المملكة العربية السعودية من قبل أنظمة التكييف. ومن جهة أخرى، لا تزال ندرة المياه موجودة في معظم البلدان القاحلة وشبه القاحلة. تقدم هذه الأطروحة نتائج دراسة أجريت لتقليل استهلاك الطاقة وتحسين أداء أنظمة التكييف التي تعمل بطريقة ضغط الغاز باستخدام البخار المكثف الناتج من قبل نظام التكييف. والنظام الأساسي المستخدم في هذه الدراسة هو مكيف هواء مشقوق بسعة 1.5 طن. . تم اعتماد ثلاثة خيارات مختلفة لتحسين أداء النظام و تقليل استهلاك الطاقة. الخيارات الثلاثة هي: الخيار "أ"، تبريد الهواء قبل دخوله المبخر باستخدام مكثف. الخيار "ب"، تبريد باستخدام مكثف. التكثيف ز الخيار "ج "تبريد الغاز المبرِد الخارج من المكثف الهواء قبل دخوله المبخر باستخدام التكثيف. تم عمل دراسة مقارنة للنظام الاساسى وانظام المعدل .اظهرت النتائج ان عملية التبريد المسبق للهواء قبل المبخر والمكثف باستخدام مكثف. وقللت عملية التبريد المسبقة للهواء الداخل للمبخر والمكثف باستخدام الماء المكثف من ضغط التصريف للضاغط . أيضاً بشكل ملحوظ عندما تم تبريد الغاز المبرِد لأقل من درجة الغليان. وأدى إنخفاض ضغط التصريف للمضخة إلى إنخفاض استهلاك الطاقة في المضخة إلى حوالي 5٪ للخيار "أ" ، و4.8 ٪ للخيار "ب"، و 3.7 ٪ للخيار "ث" الظروف المناخية الحادة هى 36 درجة مئوية و 80% رطوبة نسبية ماخوذة من بيانات الطقس للاربع مدن الرئيسية فى المملكة العربية السعودية. ومن خلال خفض ضغط التصريف، يمكن تحسين متوسط العمر المتوقع للمضخة. وتم زيادة معامل الأداء (COP) بنحو 31 ٪ ، 21 ٪ و 30 ٪ للخيارات "أ" و"ب" و"ث" على التوالي. وكانت الزيادة في الكفاءة للقانون الثاني للخيارات "أ" و"ب" و"ث" هي 24.85، 23.51، و21.53 ٪ على التوالي. وتبين من التقييم العام للخيارات الثلاثة أن الخيار "أ" يعطي أفضل تحسين لأداء النظام، يليها الخيار "ب" ثم الخيار "ث". وتم دراسة معدل استخراج الماء المكثف من نظام تكييف الهواء الذي يعتبر مصدرا إضافياً للماء بالإضافة إلى تحليله كيميائياً لتحديد درجة نقائه. وكانت كمية الماء المكثف من خلال النظام في منطقة الظهران خلال الأشهر يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر هي 1036, 1076 ، 1181، 2173، و1781 كجم على التوالي، وتم جمع هذه الكميات في التجربة كل ساعة. وكانت النتائج التحليلية لعملية التكثيف والتي تم حسابها لكل ساعة باستخدام البيانات المناخية الفعلية في إتفاق جيد مع النتائج التجريبية. تم اجراء التحاليل الكيميائية والتى تمت مقارنة نتائجها مع الموصى بها للماء المقطر من منظمة الصحة . أظهرت التحاليل الكيميائية الماء المكثف أنه يمكن استخدامه على أنه ماء مقطر بعد عملية ازالة البكتيريا ، وايضا يمكن استخدامه لتحسين اداء انظمة وتطبيقات تكييف الهواء كما فتعويض مياه أبراج التبريد،والري.

العنوان:	PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE
المؤلف الرئيسي:	Ibrahim, Nasiru Ishaq
مؤلفين آخرين:	Al Farayedhi, Abd Alghani Abd Allah(Author)
التاريخ الميلادي:	2013
موقع:	الظهران
الصفحات:	1 - 176
رقم MD:	649521
نوع المحتوى:	رسائل جامعية
اللغة:	English
الدرجة العلمية:	رسالة ماجستير
الجامعة:	جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الكلية:	عمادة الدراسات العليا
الدولة:	السعودية
قواعد المعلومات:	Dissertations
مواضيع:	تكييف الهواء، المكثفات، الهندسة الميكانيكية
رابط:	https://search.mandumah.com/Record/649521

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF A VAPOR COMPRESSION AIR CONDITIONING SYSTEM BY CONDENSATE AND FRESH WATER SOURCE

BY

NASIRU ISHAQ IBRAHIM

A Thesis Presented to the

DEANSHIP OF GRADUATE STUDIES

KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS

DHAHRAN, SAUDI ARABIA

In Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of

MASTER OF SCIENCE

In

MECHANICAL ENGINEERING

SAFAR 1435

DECEMBER 2013