

National technical university  
«Kharkiv polytechnic institute»

Ministry of education and science of Ukraine

Qualifying scientific work  
In the rights of the manuscript

HAMZAH OMAR ADEL HAMZAH

UDC 621.433.3:665.612.2


**DISSERTATION**

PARAMETER SELECTION THE POWERPLANT WITH RECOVERY  
SYSTEM OFF-GAS IN THE REFINERY

Specialty 05.05.03 – engines and power plants

Served for obtaining scientific degree candidate of technical sciences

The dissertation contains results of own researches. Using the ideas, products and texts by other authors have links to the appropriate source

 Hamzah Omar Adel Hamzah

Supervisor – Marchenko Andrej Petrovich doctor of Science, professor



*Згодомність за змістом  
з іншими працями  
дисертації завідаю.*  
Відомий секретар  
судової справи  
№ Д 64.050.13

Kharkiv 2017

*Prof. Fedorov O. TO.  
21.04.2017г.*

## ***ANNOTATION***

*Hamzah Omar Adel Hamzah* PARAMETERS SELECTION OF THE POWER PLANT WITH RECOVERY SYSTEM OFF-GAS IN THE REFINERY

– Qualifying scientific work on the Rights of the manuscript.

Dissertation for the candidate degree in specialty 05.05.03 "Engines and Power Plants". - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute ", Kharkiv 2017.

The thesis is devoted to actual problem - the selection of schemes and power parameters of the power plant for utilization of associated gas. The problem of associated gas flaring continuously rising international conferences on conservation of the environment are held under the auspices of the UN and the World Bank. In particular, the World Conference on Climate in Paris (COP21) in 2015, and was nominated Global Initiatives to eradicate the practice of flaring of associated gas in the oil industry. Worldwide, it was supported by 45 oil companies, governments and other parties through which CO<sub>2</sub> emissions can be reduced by 100 million tons per year. The adopted program "Zero Routine Flaring by 2030" provides end to the practice of burning of associated gas by 2030. This Initiatives supported and Iraq, which in 2015 take the second place in the world with the burning of associated gas in flares.

Associated petroleum gas is 2% of product yield refineries in Iraq. Given the number of refineries and their power daily when they are flaring loss a lot of energy and is a significant pollution of the territory not only as chemical emissions but as a heat is released during the combustion of associated gas.

The work uses a comprehensive approach to the selection circuit and power parameters power plant for utilization of associated gas. The possible options for the utilization of associated gas. According to the options two power plants are taken the first one based on gas turbine engine and the second based on gas turbine engine and a piston engine.

The question examined in terms of exergetic-energy balance installation and obtain the best technical and economic performance, taking into account the climatic characteristics of Iraq

The features of physical and chemical composition of associated petroleum gas in the refinery in Iraq, in particular methane determined the number, the method of firm Caterpillar. The methane number of the gas fuel affects the choice piston power plant. Significant impact on the choice of installing recycling schemes associated gas temperature features render the region. For their consideration set average temperature for the region.

Conducted thermal calculations allowed to analyze the impact of environmental temperature on performance of power plants and conduct a feasibility study best selection circuit installation.

Implementation exergetic-energy balance for power plants proposed scheme has allowed to confirm significant reduction in thermal pollution and show the most attractive from that perspective scheme.

Economic calculations allowed to determine the payback period of the projects and installations prove the economic feasibility of their construction. The most economically attractive project.

The analysis of the economic risks of sensitivity to changes in prices of electricity and to changes in ambient temperature. Similar calculations of sensitivity analysis performed for the two plants power plants. Based on the analysis, commissioned by the Iraqi side was developed based business project for energy generation capacity on the basis of energy utilization units.

The results of the study will not only get the necessary electrical energy that can be used not only in the enterprise, but also to improve the environment in accordance with international agreements. The results of the research will be used in the construction of new units in the refineries in Iraq according to a letter from the Ministry of Industry and minerals

Keywords: associated petroleum gas combustion, emissions, physical and chemical properties, methane number, gas turbine, piston engine, economic analysis, sensitivity analysis.

### ***АНОТАЦІЯ***

*Хамза Омар Адел Хамза* Вибір параметрів силової установки із системою утилізації супутнього нафтового газу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» (14 – Електрична інженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена актуальному питанню - вибору схеми та параметрів силової енергетичної установки для утилізації попутного нафтового газу. Проблема спалювання попутних газів постійно підіймається на міжнародних конференціях зі збереження навколишнього середовища які проходять під егідою ООН та Всесвітнього банку. Зокрема, на Всесвітній конференції з клімату в Парижі (COP21) у 2015 році, була висунута та підтримана глобальна ініціатива з викорінення практики спалювання попутного газу в нафтовій промисловості. В усьому світі її підтримали 45 нафтових компаній, урядів та інших сторін завдяки яким викиди CO<sub>2</sub> можуть скоротитись на 100 мільйонів тонн на рік. Прийнята програма “Zero Routine Flaring by 2030” передбачає покінчити з практикою спалювання супутнього нафтового газу до 2030 року. Цю ініціативу підтримала і держава Ірак, яка на 2015 рік займала друге місце у світі зі спалювання попутних газів у факелах.

Попутний нафтовий газ складає 2% від виходу продуктів нафтопереробного підприємства в Іраку. Враховуючи кількість нафтопереробних підприємств та їх потужності, щоденно, при його

спалюванні у факелах, втрачається велика кількість енергії та відбувається значне забруднення навколишньої території не тільки хімічними викидами а і теплотою яка виділяється при згорянні попутного нафтового газу.

У роботі використано комплексний підхід до вибору схеми та параметрів силової енергетичної установки для утилізації попутного нафтового газу. Розглянуто можливі варіанти утилізації супутнього нафтового газу. Серед варіантів взято енергетичну установку на базі газотурбінного двигуна та установку на базі газотурбінного двигуна який діє сумісно з поршневим двигуном.

Поставлене питання розглянуто з точки зору енерго-ексергетичного балансу установки та отримання найкращих техніко-економічних показників з урахуванням кліматичних особливостей регіону держави Ірак.

Розглянуто особливості фізико-хімічного складу супутнього нафтового газу на нафтопереробному заводі держави Ірак, зокрема проведено визначення метанового числа, за методикою фірми Caterpillar. Метанове число газового палива впливає на вибір поршневої енергетичної установки. Значний вплив на вибір схеми установки з утилізації супутнього нафтового газу оказують температурні особливості регіону. Для їх урахування визначено середню температуру для регіону.

Проведені теплові розрахунки дозволили проаналізувати вплив температури навколишнього середовища на показники енергетичних установок та провести економічне обґрунтування обрання найкращої схеми установки.

Виконання енерго-ексергетичного балансу для запропонованих схем енергогенеруючих установок дозволило підтвердити значне зменшення теплового забруднення навколишнього середовища та вказати на найбільш привабливу з цієї точки зору схему.

Економічні розрахунки дозволили визначити термін окупності запропонованих проектів установок та довести економічну доцільність їх побудови. Визначено найбільш економічно привабливий проект.

Проведено аналіз економічних ризиків чутливості до зміни ціни електроенергії та до зміни температури навколишнього середовища. Подібні розрахунки аналізу чутливості проведено для заводів з двома енергетичними установками. На основі проведеного аналізу, на замовлення Іракської сторони, було розроблено основу бізнес проекту для енергогенеруючих потужностей на базі енергетичних утилізаційних установок.

Виконання результатів дослідження дозволить не тільки отримати необхідну електричну енергію, яку можна використовувати не тільки на підприємстві, а і покращити стан навколишнього середовища у відповідності до міжнародних домовленостей. Результати дисертаційного дослідження будуть використані при будівництві нових енергоблоків на нафтопереробних заводах Іраку згідно листа від Міністерства промисловості і природних ресурсів.

Ключові слова: попутний нафтовий газ, спалювання, шкідливі викиди, фізико-хімічні показники, метанове число, газотурбінна установка, поршневий двигун, економічний аналіз, аналіз чутливості.

#### A list of publications of the applicant

1. Хамза Омар Адел Хамза. The problems of utilization of flare gases in internal combustion engines / А.П. Марченко, Д.Е. Самойленко, Хамза Омар Адел Хамза // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №2. – С.55-60.

2. Хамза Омар Адел Хамза. Waste heat recovery systems for internal combustion engines: classification and benefits / А.П. Марченко, Д.Е. Самойленко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №2. – С.37-41.

3. Хамза Омар Адел Хамза. Моторные свойства низкокалорийных газовых топлив и их влияние на показатели двигателей внутреннего сгорания / А.П. Марченко, А.А. Осетров, С.С.Кравченко, Хамза Омар Адел Хамза // Энерготехнології та ресурсозбереження. – 2014. – №5-6. – С. 3-9.

4. Хамза Омар Адел Хамза. Ways of using waste energy from I.C. engines exhaust gases / А.П. Марченко, Д.Е. Самойленко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // Двигатели внутреннего сгорания. – 2015. – №2. – С. 22-26.

5. Хамза Омар Адел Хамза. Методология оценки эффективности системы рекуперации тепла выхлопных газов для дизельных электростанций / А.П. Марченко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – № 2. – С. 124-126.

6. Хамза Омар Адел Хамза. Оценка инвестиционной привлекательности энергосберегающих технологий на основе тепловых двигателей применительно к нефтеперерабатывающему заводу / А.П. Марченко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №1. – С.67-71.

7. Хамза Омар Адел Хамза. Использование выхлопных газов дизельной силовой установки для получения дополнительных источников питания с использованием цикла Ренкина / А.П. Марченко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // European Journal of Technical and Natural Sciences. – Austria, Vienna. – 2016. – № 1-2. – P. 11-17.

8. Хамза Омар Адел Хамза. Parameter optimization of heat recovery steam generation for Hyundai engine H25/33 / А.П. Марченко, Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза // European Journal of Technical and Natural Sciences. – Austria, Vienna. – 2016. – № 3-4. – P. 28-31.

9. Хамза Омар Адел Хамза. Власне виробництво електроенергії з нафтопереробних заводів / Хамза Али Адел, Хамза Омар Адел Хамза //

Пат. 4017 Республіка Ірак, МПК F03B13/02, F03B17/00. – заявл. 23.12.2012; опубл. 21.09.2014.

10. Хамза Омар Адел Хамза. Energy efficiency of binary cycle power plant for the refinery / Хамза Омар Адел Хамза, Т.П. Михайленко // Сучасні технології в промисловому виробництві: II Всеукр. міжвузівська науково-техн. конф., 17-20 квіт. 2012 р.: тези доп. – Суми, 2012. – С. 105.

11. Хамза Омар Адел Хамза. Проблемы утилизации попутных газов в двигателях внутреннего сгорания / А.П. Марченко, Д. Е. Самойленко, Хамза Омар Адел Хамза // XVIII міжнар. конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2013. – 150с. – С. 87.

12. Хамза Омар Адел Хамза. Системы утилизации энергии отработавших газов двс: классификация и преимущества / А.П. Марченко, Али Адел Хамза, Хамза Омар Адел Хамза, Д. Е. Самойленко // XIX міжнар. конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2014. – 104с. – С. 57.

13. Хамза Омар Адел Хамза. Технологія використання супутнього нафтового газу в теплових двигунах: техніко-економічний аспект / Хамза Омар Адел Хамза // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV міжнар. науково -практич. конф., 18-20 трав. 2016 р.: тези доп. – Х., 2016. – Ч. II. – С. 176.



## CONTENT

LIST OF THE MAIN REFERENCE SIGNS, SYMBOLS, REDUCTIONS.....	5
INTRODUCTION.....	7
CHAPTER 1 STATUS OF ISSUE AND RESEARCH PROBLEMS .....	12
1.1 The global relevance of this work.....	12
1.2 Associated gas: total volumes, physical-chemical properties, the traditional technology of utilization .....	16
1.3 Oil refining production in Iraq: general characteristics, the total volume of associated gas, the climatic conditions of work.....	22
1.3.1 Climate conditions .....	22
1.3.2 General data on the refineries .....	24
1.4 Features of power plants for the production of electricity based on gas reciprocating internal combustion engines and gas turbine engines .....	26
1.5. The relevance, purpose and objectives of the research.....	29
Conclusions to Chapter .....	30
Chapter 2 BACKGROUND AND METHODOLOGY OF THE RESEARCH OF POWER PLANTS IN ELECTRICITY GENERATION BASED ON GAS RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND GAS TURBINE ENGINES .....	32
2.1 Database of Off-gas from petroleum refinery in Iraq.....	32
2.1.1 Off-gas refinery.....	34
2.1.2 Methane number .....	37
2.2 Fundamental part of power plant on the production of electric energy basing on gas turbine engine.....	47
2.3 Fundamental part of power plant on the production of electric energy basing on internal combustion engine and gas turbine .....	51
2.4 Methods of computational research of power plants for the production of electrical energy .....	56
2.4.1 Piston IC Engine CAT G3516 calculation.....	56

2.4.2 Gas turbine engine calculation.....	58
2.5 Energy – exergy analysis .....	63
2.6 The main aspects of the technical and economic evaluation of the proposed dissertation in scientific and technical solutions.....	66
2.6.1 Capital Budgeting .....	66
2.6.2 Capital budgeting decision rules.....	69
2.6.3 Project risk analysis .....	73
Conclusions to Chapter .....	75
Chapter 3 THE STUDY OF POWER PLANTS FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY BASED ON GAS RECIPROCATING INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND GAS TURBINE ENGINES.....	76
3.1 The results of the calculations of methane number .....	76
3.2 Effective performance of the power plant based on a gas turbine production UGT3000 "Zorya" - "Mashproekt" .....	79
3.3 Power plant based at TV3-117 gas turbine and G3516 internal combustion reciprocating engine .....	82
3.4 Influence of ambient temperature on the performance of power plants....	87
3.5 Energy-exergy analysis offered in the dissertation Off-gas utilization technologies refinery .....	90
3.5.1 Energy and exergy analysis of the traditional technology of recycling Off-gas by flaring of associated gas .....	90
3.5.2 Energy-exergetic analysis of the off-gas utilization technology in the UGT 3000 gas turbine (project A).....	93
3.5.3 Energy-exergy analysis of the off-gas utilization technology in the gas turbine TV3-117 and the piston gas engine Caterpillar G3516 (project B) .	96
Conclusions to Chapter .....	100
Chapter 4 INVESTMENT PROJECTS EVALUATION .....	101
4.1 Basic initial data of technical and economic evaluation offered solutions in the dissertation .....	101

4.2 Capital budgeting decision.....	105
4.3 Project risk analysis calculation.....	113
Conclusions to Chapter .....	116
CONCLUSION .....	118
REFERENCES.....	120
ADDITION A .....	127
ADDITION B.....	130
ADDITION C.....	132