

---

EUROPEAN  of Technology  
Journal and Design

---

Has been issued since 2013.  
ISSN 2308-6505. E-ISSN 2310-3450  
2015. Vol.(9). Is. 3. Issued 4 times a year

EDITORIAL BOARD

- Dr. Kuvshinov Gennady** – Sochi State University, Sochi, Russia (Editor-in-Chief)  
**Dr. Ariwa Ezendu** – University of Bedfordshire, UK (Associate Editor-in-Chief)  
**PhD Petrochenkov Anton** – Perm National Research Politechnic University, Perm, Russia  
**PhD Volkov Aleksandr** – Sochi State University, Sochi, Russia  
**Dr. Jose K Jacob** – Calicut University, Kerala, India  
**Dr. Coolen Frank** – Durham University, Durham, United Kingdom  
**Dr. Ojovan Michael** – Imperial College London, London, UK  
**Dr. Md Azree Othuman Mydin** – University Sains Malaysia, Penang, Malaysia  
**Dr. Zaridze Revaz** – Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
**Dr. Tsvetkov Viktor** – Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia  
**Dr. Utkin Lev** – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russia  
**Dr. Zhuk Yulia** – Saint-Petersburg Forestry University, Saint-Petersburg, Russia

The journal is registered by Federal Service for Supervision of Mass Media, Communications and Protection of Cultural Heritage (Russia). Registration Certificate ПИ № ФЦ 77 – 54155 17.05.2013.

Journal is indexed by: **CrossRef** (UK), **EBSCOhost Electronic Journals Service** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **Global Impact Factor** (Australia), **Open Academic Journals Index** (Russia), **ULRICH's WEB** (USA).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 26/2 Konstitutcii, Office 6  
354000 Sochi, Russia

Website: <http://ejournal4.com/>  
E-mail: [ejtd2013@mail.ru](mailto:ejtd2013@mail.ru)

Founder and Editor: Academic Publishing  
House *Researcher*

Passed for printing 16.09.15.

Format 21 × 29,7/4.

Enamel-paper. Print screen.

Headset Georgia.

Ych. Izd. l. 4,5. Ysl. pech. l. 4,2.

Order № 9.

European Journal of Technology and Design

2015

Is.

3



Издается с 2013 г. ISSN 2308-6505. E-ISSN 2310-3450  
2015. № 3 (9). Выходит 4 раза в год.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- Кувшинов Геннадий** – Сочинский государственный университет, Сочи, Россия  
(Гл. редактор)  
**Арива Эзенду** – Университет Бедворшира, Великобритания (Зам. гл. редактора)  
**Волков Александр** – Сочинский государственный университет, Сочи, Россия  
**Петроченков Антон** – Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия  
**Жук Юлия** – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия  
**Заридзе Реваз** – Тбилисский государственный университет, Тбилиси, Грузия  
**Коолен Франк** – Университет г. Дарем, Дарем, Великобритания  
**Мд Азри Отхуман Мудин** – Университет Малайзии, Пенанг, Малайзия  
**Ожован Михаил** – Имперский колледж Лондона, г. Лондон, Великобритания  
**Уткин Лев** – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия  
**Цветков Виктор** – Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия  
**Хосе К Якоб** – Каликутский университет, Керала, Индия

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Российская Федерация). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77 – 54155 17.05.2013.

Журнал индексируется в: **CrossRef** (Соединенной королевство), **EBSCOhost Electronic Journals Service** (США), **Global Impact Factor** (Австралия), **Научная электронная библиотека** (Россия), **Open Academic Journals Index** (Россия), **ULRICH's WEB** (США).

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 354000, Россия, г. Сочи,  
ул. Конституции, д. 26/2, оф. 6  
Сайт журнала: <http://ejournal4.com/>  
E-mail: [ejtd2013@mail.ru](mailto:ejtd2013@mail.ru)

Учредитель и издатель: ООО «Научный  
издательский дом "Исследователь"» -  
Academic Publishing House *Researcher*

Подписано в печать 16.09.15.  
Формат 21 × 29,7/4.  
Бумага офсетная.  
Печать трафаретная.  
Гарнитура Georgia.  
Уч.-изд. л. 4,5. Усл. печ. л. 4,2.  
Заказ № 9.

C O N T E N T S

<b>By Development of Express Methodic for Determining the Stationary Thermal Conditions Models Parameters of Aerial Lines</b> Anton B. Petrochenkov, Alexandr V. Romodin, Dmitriy Yu. Leizgol'd, Mikhail S. Borisov .....	<b>98</b>
<b>Heat Integration of the Gas Condensate Stabilization Unit, a case study from the South Pars Gas Field in the Persian Gulf</b> Mohammad Hadi Salimi, Taleb Zarei .....	<b>107</b>

Copyright © 2015 by Academic Publishing House Researcher



Published in the Russian Federation  
European Journal of Technology and Design  
Has been issued since 2013.

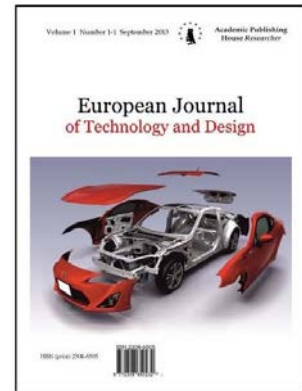
ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 9, Is. 3, pp. 98-106, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.9.98

[www.ejournal4.com](http://www.ejournal4.com)



UDC 621.311.001.57+621.315

### **By Development of Express Methodic for Determining the Stationary Thermal Conditions Models Parameters of Aerial Lines**

<sup>1</sup>Anton B. Petrochenkov

<sup>2</sup>Alexandr V. Romodin

<sup>3</sup>Dmitriy Yu. Leizgol'd

<sup>4</sup>Mikhail S. Borisov

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation  
Komsomolsky prospect 29, Perm, Perm Krai, 614990

PhD (technical), associate professor

E-mail: [pab@msa.pstu.ac.ru](mailto:pab@msa.pstu.ac.ru)

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation  
Komsomolsky prospect 29, Perm, Perm Krai, 614990

PhD (technical), associate professor

E-mail: [romodin@mail.ru](mailto:romodin@mail.ru)

<sup>3</sup>Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation  
Komsomolsky prospect 29, Perm, Perm Krai, 614990

PhD student, assistant

E-mail: [dmleyz@mail.ru](mailto:dmleyz@mail.ru)

<sup>4</sup>Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation  
Komsomolsky prospect 29, Perm city, Perm, 614990

E-mail: [mihail.borisov.1993@mail.ru](mailto:mihail.borisov.1993@mail.ru)

#### **Abstract**

The article deals with the determining value of the steady heating of the air line under load. The authors proposed to determine the value of the steady-heating based on real experimental data. To obtain the equation of the heating process were built and analyzed according to steady heating of each environment parameter. Besides that, an algorithm which described steps to creation characteristic curve the steady heating by external factors. The reliability analyze of obtained results, which made by the Fisher test, showed that the proposed model is adequate ( $F$  less  $F_{kr}$  more than 4 times). The introduced approach can be used to develop steady state heat conductors models with a sufficiently high accuracy by a low cost of time to collect the necessary data.

**Keywords:** compelled convection, stationary thermal conditions, the equation of thermal balance.

#### **Введение**

Установившееся значение нагрева находится на основании численного решения уравнения теплового баланса [1-3] или, считая постоянным коэффициент теплопередачи проводника и его сопротивление, принимается равным произведению допустимого

превышения нагрева на квадрат отношения тока нагрузки к допустимому току [4-6]. Уравнение теплового баланса нелинейно и требует для решения численные или аналитические методы, которые в свою очередь имеют свои недостатки [7]. Подход, описанный в [4-6], ведет к погрешностям за счет того, что он не учитывает ни один из параметров окружающей среды, кроме температуры. Оба эти подхода имеют общий недостаток – допущения при построении расчетных выражений. Таким образом, актуальной задачей становится уточнение моделей стационарного теплового режима проводников. Для этого авторами предлагается определять установившийся нагрев при помощи уравнения, включающего результаты измерений характеристик нагрева реального объекта. Точность и скорость расчета параметров стационарного теплового режима будет являться ключевой составляющей при мониторинге технического состояния воздушных линий, что может сыграть важную роль при поиске оптимального режима работы [8-11] и разработке программных комплексов по оптимизации [12-13].

### **Зависимость установившегося нагрева от параметров окружающей среды**

Для рассмотрения зависимости установившегося нагрева от параметров окружающей среды запишем уравнение теплового баланса в случае вынужденной конвекции [7]:

$$\Delta P_0(1 + \alpha\theta) = d_{np} \left[ \pi\alpha_{вын} (\theta - \theta_{окр}) + \pi\varepsilon_n C_0 (T^4 - T_{окр}^4) - A_s q_{солн} \right], \quad (1)$$

где  $\alpha_{вын}$  – коэффициент теплоотдачи вынужденной конвекцией, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>2</sup>);  $\varepsilon_n$  – коэффициент черноты поверхности провода для инфракрасного излучения;  $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – постоянная излучения абсолютно черного тела;  $\theta$  и  $\theta_{окр}$  – температуры соответственно провода и окружающей среды, °С;  $T$  и  $T_{окр}$  – то же в К (абсолютные температуры);  $A_s$  – поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения;  $q_{солн}$  – плотность потока солнечной радиации на провод, Вт/м<sup>2</sup>;  $d_{np}$  – диаметр провода, м;  $\Delta P_0 = I^2 r_0$  – потери активной мощности в проводе на единицу длины при  $\theta = 0$  °С;  $I$  – ток в проводе, А;  $r_0$  – погонное активное сопротивление провода при  $\theta = 0$  °С, Ом/м;  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

Коэффициент теплоотдачи вынужденной конвекцией можно расписать согласно [7]:

$$\alpha_{вын} = 0,044 \frac{k_v (P_{атм} V)^{0,6}}{(T_{окр} d_{np})^{0,4}}, \quad (2)$$

где  $k_v$  – коэффициент угла атаки ветра;  $P_{атм}$  – атмосферное давление, Па;  $V$  – скорость ветра, м/с.

Установившийся нагрев проводника, согласно (1) и (2) изменяется в зависимости от таких параметров окружающей среды, как: температура окружающей среды, скорость ветра, атмосферное давление, коэффициента угла атаки ветра и интенсивность потока солнечного излучения. Остальные составляющие уравнения теплового баланса, то есть диаметр провода, погонное активное сопротивление, степень черноты поверхности провода и поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения зависят от кабеля, его цвета и материала из которого сделан. Поэтому удобнее производить вычисления по уравнению, в котором значение установившегося нагрева зависит только от параметров окружающей среды. Данное уравнение имеет следующий вид:

$$\theta = a \cdot \theta_{\text{окр}} + b \cdot q_{\text{солн}} + c \cdot k_V + d \cdot V + e \cdot P_{\text{атм}} + f, \quad (3)$$

где  $a, b, c, d, e, f$  – коэффициенты уравнения, которые зависят от тока нагрузки.

### Зависимость установившегося нагрева от параметров окружающей среды

Характер зависимости установившегося нагрева от каждого параметра был найден с помощью уравнения теплового баланса следующим образом:

1) По уравнению (1) найдены значения установившегося нагрева, при условии, что все составляющие уравнения неизменны, а изменяется только наблюдаемый параметр.

2) Построены зависимости установившегося нагрева от исследуемого параметра и подобраны полиномы, которые точнее всего описывают наблюдаемый параметр (рис. 1).

Исходя из рис. 1, можно сделать вывод, что установившееся значение нагрева имеет линейную зависимость от температуры окружающей среды, плотности потока солнечной радиации и атмосферного давления, а угол атаки ветра и скорость ветра имеют логарифмическую зависимость. Поэтому в уравнении (3) угол атаки ветра и скорость ветра следует ввести через натуральный логарифм:

$$\theta = a \cdot \theta_{\text{окр}} + b \cdot q_{\text{солн}} + c \cdot \ln k_V + d \cdot \ln V + e \cdot P_{\text{атм}} + f. \quad (4)$$

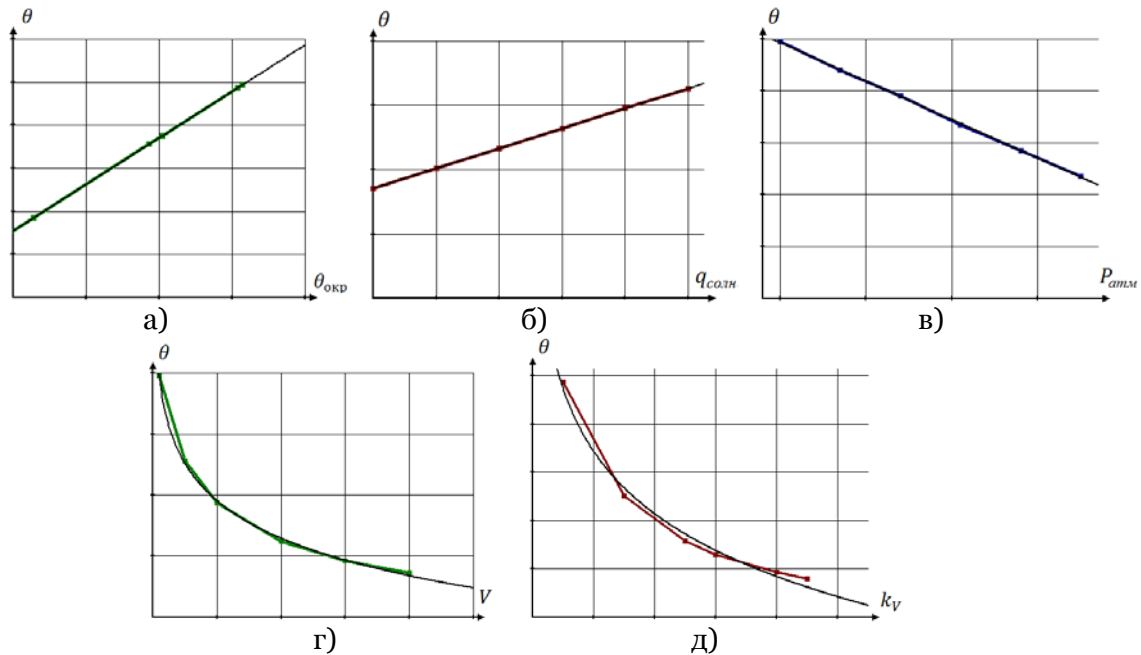


Рис. 1. Зависимости установившегося нагрева от параметров окружающей среды и их полиномы: а – от температуры окружающей среды; б – от плотности потока солнечной радиации; в – от угла атаки ветра; г – от атмосферного давления; д – от скорости ветра

### Алгоритм определения параметров модели стационарного теплового режима

1) Измеряем установившийся нагрев. Требуется провести 6 измерений установившегося нагрева для 4 нагрузочных токов. Рекомендуется проводить данные замеры в течение 6 различных дней, изменяя нагрузочный ток четыре раза и записывая средние параметры окружающей среды в этот день.

2) Определяем коэффициенты уравнения (4). Данные коэффициенты вычисляются с помощью нахождения определителя матрицы (5):

$$\begin{vmatrix} \theta_{окр} - \theta_{окр0} & \theta_{окр1} - \theta_{окр0} & \dots & \theta_{окр5} - \theta_{окр0} \\ \theta - \theta_0 & \theta_1 - \theta_0 & & \theta_5 - \theta_0 \\ q_{солн} - q_{солн0} & q_{солн1} - q_{солн0} & \ddots & q_{солн5} - q_{солн0} \\ k'_V - k'_{V0} & k'_{V1} - k'_{V0} & & k'_{V5} - k'_{V0} \\ V' - V_0 & V_1 - V_0 & & V_5 - V_0 \\ P_{атм} - P_{атм0} & P_{атм1} - P_{атм0} & \dots & P_{атм5} - P_{атм0} \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где  $k'_V = \ln k_V$ ;  $V' = \ln V$ ;  $\theta_{окрi}$ ,  $\theta_i$ ,  $q_{солнi}$ ,  $k'_{Vi}$ ,  $V'_i$ ,  $P_{атми}$  – результаты измерений.

3) Строим зависимости коэффициентов уравнения (4), найденных в пункте 2, от тока нагрузки и подбираем полиномы, которые точнее всего описывают данные зависимости.

### Анализ результатов

В качестве примера представим вычисление коэффициентов уравнения (4) для кабеля АС-240/32 и сравним с результатом вычисления по уравнению (1). Составляющие уравнения (1), которые принимаем считать неизменными (диаметр провода, погонное активное сопротивление, степень черноты поверхности провода и поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения), были взяты согласно табл. 1. В качестве данных используются решения уравнения (1). Результат расчета установившегося нагрева и параметры окружающей среды, при которых они были получены, представлены в табл. 2.

Таблица 1. Данные для решения уравнения теплового баланса, принятые неизменными

Наименование и обозначение параметра	Численное значение
Диаметр провода $d_{np}$	0,0216 м
Степень черноты поверхности провода $\varepsilon_n$	0,9
Поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения $A_s$	0,6
Погонное активное сопротивление $r_0$	0,0001114 Ом/м
Температурный коэффициент сопротивления $\alpha$	0,0043 1/°C

Для нагрузочного тока 600 А, подставив соответствующие коэффициенты в (5), получаем:

$$\theta = 1,0928 \cdot \theta_{окр} + 0,00803 \cdot q_{солн} - 31,0762 \cdot k'_V - 17,632 \cdot V' + 0,000126 \cdot P_{атм} + 11,527.$$

Таблица 2. Результаты решения уравнения (1), принятые за реальный эксперимент

Параметры окружающей среды	Значение параметра окружающей среды в опыте					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Плотность потока солнечной радиации $q_{солн}$ , Вт/м <sup>2</sup>	380	750	670	800	730	661
Коэффициент угла атаки ветра $k_V$	0,5	0,6	0,75	0,75	0,65	0,65
$k'_V = \ln k_V$	-0,69	-0,51	-0,28	-0,28	-0,43	-0,43
Атмосферное давление $P_{атм}$ , Па	98645	98978	99685	99325	98965	98778
Скорость ветра $V$ , м/с	1,1	1,5	1,1	1,2	1	2,2
$V' = \ln V$	0,095	0,405	0,095	0,18	0	0,78

Температура окружающей среды $\theta_{окр}, ^\circ\text{C}$	11,6	13,3	14,7	19,6	22,9	30
Ток нагрузки, А	Значение установившегося нагрева, рассчитанного по уравнению (1) $\theta, ^\circ\text{C}$					
600	59,61	53,35	52,86	57,68	68,34	61,62
500	45,68	42,69	42,52	47,65	56,17	53,02
400	34,7	34,3	34,37	39,73	46,56	46,22
300	26,44	27,98	28,24	33,76	39,3	41,08

Результаты вычисления для остальных токов нагрузки представлены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты уравнения (4) для различных токов нагрузки

Ток нагрузки, А	Значения коэффициентов уравнения (4)					
	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$
600	1,0928	0,00803	-31,076	-17,632	0,000126	11,527
500	1,0859	0,009	-24,369	-12,825	0,000695	-54,546
400	1,0795	0,00989	-19,234	-9,00168	0,001203	-112,785
300	1,0722	0,0104	-15,256	-6,111	0,001563	-154,225

Зависимости коэффициентов уравнения (4) от тока нагрузки представлены на рис. 2.

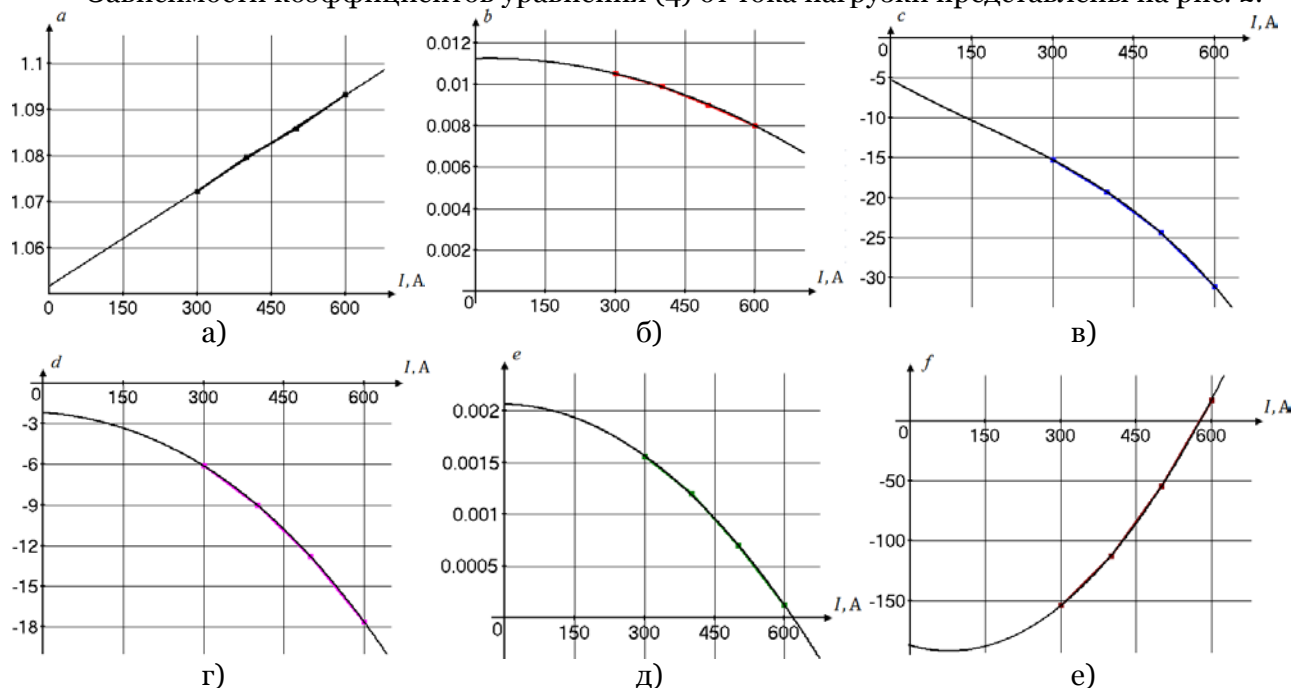


Рис. 2. Зависимости коэффициентов от тока нагрузки и их полиномы:  
а –  $a=f(I)$ ; б –  $b=f(I)$ ; в –  $c=f(I)$ ; г –  $d=f(I)$ ; д –  $e=f(I)$

Коэффициент  $a$  описывается полиномом первой степени;  $b, e$  и  $f$  – второй степени; коэффициенты  $c$  и  $d$  – третьей степени.

Адекватность данной модели проверим по критерию Фишера. Выборки, по которым будем судить об адекватности, представлены в табл. 4. В первой выборке находится результат расчета установившегося нагрева, вычисленного по уравнению (1), а во второй, вычисленного по уравнению (3).



Таблица 4. Сравнительная таблица

Параметры окружающей среды	Значение параметра окружающей среды в опыте						
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7
Плотность потока солнечной радиации $q_{\text{солн}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	765	93	30	450	717	540	380
Коэффициент угла атаки ветра $k_v$	0,5	0,75	0,75	0,4	0,5	0,6	0,75
Атмосферное давление $P_{\text{атм}}$ , Па	98498	99125	97245	100658	100111	99271	100032
Скорость ветра $V$ , м/с	1,1	2,8	2,3	0,1	0,6	0,6	0,1
Температура окружающей среды $\theta_{\text{окр}}$ , °С	20,2	-3,2	-12,1	-2,4	18,9	17,2	11
Ток нагрузки, А	520	600	600	470	510	330	500
Значения установившегося нагрева, рассчитанного по уравнению (1) $\theta$ , °С	61,41	16,05	8,42	66,19	67,63	38,46	69,91
Значения установившегося нагрева, рассчитанного по уравнению (4) $\theta$ , °С	60,89	12,12	5,13	62,12	66,88	38,42	66,88

Значение  $F$  критерия получилось равным 1,042. Для уровня значимости  $q = 0,05$  и  $n - 1 = 6$   $F_{\text{кр}} = 4,28$ . Так как  $F_{\text{кр}} > F$ , то разработанная модель адекватна.

### Вывод

Данный подход позволяет на основании шести измерений установившегося нагрева для четырех нагрузочных токов построить линейную зависимость установившегося нагрева от параметров окружающей среды. Важно учесть, что для точности построения данной зависимости скорость ветра и угол атаки ветра должны меняться минимум в трех из шести опытов. Это связано с тем, что установившийся нагрев логарифмически зависит от данных параметров. От остальных параметры окружающей среды он зависит линейно, а, следовательно, они должны измениться минимум в двух из шести опытов.

Достоинствами данного подхода является, во-первых, то, что указанную зависимость можно вывести, не зная диаметра, погонного сопротивления, степени черноты поверхности и поглощающей способности поверхности линии электропередачи для солнечного излучения.

Во-вторых, вычисления по полученному линейному выражению достаточно просты, что позволяет избежать итерационного расчета, в отличие от решения уравнения теплового баланса.

И, в-третьих, предложенный подход основан на измерении температуры проводника, а не на расчете, тем самым погрешность в определении установившегося значения нагрева сводится к минимуму.

### Примечания:

1. Аналитическое решение уравнения теплового баланса провода воздушной линии в условиях вынужденной конвекции [Электронный ресурс] / Е.В. Петрова и др. // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. Режим доступа: [www.science-education.ru/121-18506](http://www.science-education.ru/121-18506) (дата обращения: 30.05.2015).

2. Гиршин С.С., Горюнов В.Н., Бигун А.Я. Расчет нестационарных температурных режимов воздушных линий электропередачи с учетом нелинейности процессов теплообмена // Омский научный вестник. 2013. № 1. С. 1-8.

3. Баранов М.И., Носенко М.А. Приближенный метод расчета максимальной температуры нагрева металлического проводника импульсным током // Электричество. 2011. № 1. С. 36-44.
4. Моделирование стационарного нагрева изолированного проводника с учетом мощности источника теплоты и теплообмена с окружающей средой / А.С. Дмитриченко и др. // Пожарная безопасность. 2012. № 1. С. 67-73.
5. Кабышев А.В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 185 с.
6. Лившиц Д.С. Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. – Москва: Государственное энергетическое изд-во, 1959. 39 с.
7. Упрощение уравнений теплового баланса воздушных линий электропередачи в задачах расчета потерь энергии / С.С. Гиршин и др. // Омский научный вестник. 2013. № 1. С. 148-151.
8. Beliaeva N., Petrochenkov A., Bade K. Data Set Analysis of Electric Power Consumption // European Researcher, 2013, Vol.(61), № 10-2, P. 2482-2487. available at: [http://www.erjournal.ru/journals\\_n/1383881713.pdf](http://www.erjournal.ru/journals_n/1383881713.pdf). DOI: 10.13187/issn.2219-8229.
9. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Модель системы ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. – Режим доступа: [http://elibrary.ru/full\\_text.asp?id=21162625](http://elibrary.ru/full_text.asp?id=21162625) (дата обращения: 21.05.2015)
10. Лейзгольд Д.Ю., Чудинов А.В. Оптимизация распределения потоков активной мощности в системе электроснабжения предприятий с учетом величины нагрева проводников // Проблемы региональной энергетики. 2015. № 1 (27). С. 35-42.
11. Разработка алгоритма расчета потерь в изолированных проводах воздушных линий с учетом режимных и климатических факторов / Е.В. Петрова и др. // Омский научный вестник. 2011. № 3. С. 221-225.
12. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2013. № 4. С. 20-25.
13. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. 2010. № 6. С. 49.

### References:

1. Analiticheskoe reshenie uravneniya teplovogo balansa provoda vozduшной линии v usloviyakh vyzhdennoi konveksii, E.V. Petrova i dr., Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, 2015, no. 1. Available at: [www.science-education.ru/121-18506](http://www.science-education.ru/121-18506) (accessed 30.05.2015).
2. Girshin S.S., Goryunov V.N., Bigun A.Ya. Raschet nestatsionarnykh temperaturnykh rezhimov vozduшной линии elektroperedachi s uchetom nelineinosti protsessov teploobmena, Omskii nauchnyi vestnik, 2013, no. 1, pp. 1-8.
3. Baranov M.I., Nosenko M.A. Priblizhennyi metod rascheta maksimal'noi temperatury nagreva metallicheskogo provodnika impul'snym tokom, Elektrichestvo, 2011, no. 1, pp. 36-44.
4. Modelirovanie statsionarnogo nagreva izolirovannogo provodnika s uchetom moshchnosti istochnika teploty i teploobmena s okruzhayushchei sredoi, A.S. Dmitrichenko i dr., Pozharnaya bezopasnost', 2012, no. 1, pp. 67-73.
5. Kabyshev A.V. Elektrosnabzhenie ob"ektov. Ch.1. Raschet elektricheskikh nagruzok, nagrev provodnikov i elektrooborudovaniya: uchebnoe posobie, Izd-vo. Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2007, 185 p.
6. Livshits D.S. Nagrev provodnikov i zashchita predokhranitelyami v elektrosetyakh do 1000 V, Moskva: Gosudarstvennoe energeticheskoe izd-vo, 1959, 39 p.
7. Uproshchenie uravnenii teplovogo balansa vozduшной линии elektroperedachi v zadachakh rascheta poter' energii, S.S. Girshin i dr., Omskii nauchnyi vestnik, 2013, no.1, pp. 148-151.

8. Beliaeva N., Petrochenkov A., Bade K. Data Set Analysis of Electric Power Consumption / European Researcher, 2013, Vol.(61), № 10-2, P.2482-2487. available at: [http://www.erjournal.ru/journals\\_n/1383881713.pdf](http://www.erjournal.ru/journals_n/1383881713.pdf). DOI: 10.13187/issn.2219-8229.

9. Romodin A.V., Leizgol'd D.Yu. Model' sistemy situatsionnogo upravleniya gibkimi liniyami elektroperedachi v normal'nykh rezhimakh raboty, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6. Available at: [http://elibrary.ru/full\\_text.asp?id=21162625](http://elibrary.ru/full_text.asp?id=21162625) (accessed 21.05.2015)

10. Leizgol'd D.Yu., Chudinov A.V. Optimizatsiya raspredeleniya potokov aktivnoi moshchnosti v sisteme elektrosnabzheniya predpriyatii s uchetom velichiny nagreva provodnikov, *Problemy regional'noi energetiki*, 2015, no. 1 (27), pp. 35-42.

11. Razrabotka algoritma rascheta poter' v izolirovannykh provodakh vozdushnykh linii s uchetom rezhimnykh i klimaticheskikh faktorov, E.V. Petrova i dr., *Omskii nauchnyi vestnik*, 2011, no. 3, pp. 221-225.

12. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podkhodov k postroeniyu kompleksa «Energooptimizator», *Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'*, 2013, no. 4, pp. 20-25.

13. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Energooptimizator», *Elektrotehnika*, 2010, no. 6, p. 49.

УДК 621.311.001.57+621.315

### **К разработке экспресс-методики определения параметров модели стационарного теплового режима воздушных линий электропередачи**

<sup>1</sup> Антон Борисович Петроченков

<sup>2</sup> Александр Вячеславович Ромодин

<sup>3</sup> Дмитрий Юрьевич Лейзгольд

<sup>4</sup> Михаил Сергеевич Борисов

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация

614990, Пермский край, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [pab@msa.pstu.ac.ru](mailto:pab@msa.pstu.ac.ru)

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация

614990, Пермский край, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [romodin@mail.ru](mailto:romodin@mail.ru)

<sup>3</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация

614990, Пермский край, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29

Аспирант

E-mail: [dmleyz@mail.ru](mailto:dmleyz@mail.ru)

<sup>4</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация

614990, Пермский край, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29

E-mail: [mihail.borisov.1993@mail.ru](mailto:mihail.borisov.1993@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос определения величины установившегося нагрева воздушной линии под нагрузкой. Авторами предлагается определять величину установившегося нагрева на основании реальных экспериментальных данных. Для получения уравнения процесса нагрева были построены и проанализированы зависимости установившегося нагрева от каждого параметра окружающей среды. Кроме

того, приведен алгоритм, в котором указан порядок действий, с помощью которого можно составить уравнение для расчета установившегося нагрева. Оценка достоверности результатов, получаемых с помощью предлагаемой модели, была произведена по критерию Фишера, который показал, что разработанная модель адекватна ( $F$  меньше  $F_{кр}$  более чем в 4 раза). Предложенный подход может использоваться при разработке модели стационарного режима нагрева проводников достаточно высокой точности при небольших затратах времени на сбор необходимых данных.

**Ключевые слова:** вынужденная конвекция, установившийся нагрев, уравнение теплового баланса.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House Researcher



Published in the Russian Federation  
European Journal of Technology and Design  
Has been issued since 2013.

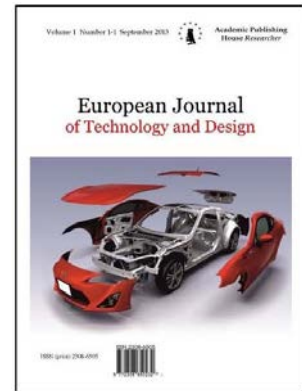
ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 9, Is. 3, pp. 107-114, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.9.107

[www.ejournal4.com](http://www.ejournal4.com)



UDC 621

## Heat Integration of the Gas Condensate Stabilization Unit, a case study from the South Pars Gas Field in the Persian Gulf

<sup>1</sup>Mohammad Hadi Salimi

<sup>2\*</sup>Taleb Zarei

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Sirjan branch, Islamic azad university, Sirjan, Iran

<sup>2\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

E-mail: [talebzarei@gmail.com](mailto:talebzarei@gmail.com)

### Abstract

Energy conservation in the design of a chemical plant is one of the most important considerations. In addition, to determine the minimum amount of hot and cold energy needed for a process is one of the main computations of determining the amount of stored energy. The heat integration (energy integrating) is an important factor in economic designs. In this paper, phases 9 and 10 of the gas condensate stabilization process of the South Pars gas are optimized using the integration design method. The results obtained showed the modified heat exchanger network, removal of existing both air fans, recovery of 2.5 MW of electricity and reduced operating costs.

**Keywords:** Heat Exchanger Network Modification, Heat Integration, Pinch technology, Gas Condensate Stabilization Unit.

### Introduction

Pinch technology is a process integration technique (Integration) and is a powerful way to optimize the process design. The results of conventional optimization processes itself tends to optimize the system as a whole (a set of processes and unit operation). The application of Pinch Technology in Pulp and Paper Industry has provided new ways to reduce energy consumption in pulp and paper production processes [1]. The reducing energy consumption is one of the most advantageous aspects of Pinch Technology. Other advantages include the correct integration of steam turbines, energy consumption optimization and investment costs, identify the most suitable process changes and increase the flexibility of the plant [2]. This approach provides overall process designs that were basically compatible with the environment. Pinch analysis is a new thermodynamic concept where a proper analysis of the heat exchange process is done. Also, proper thermodynamic analysis leads to the identification of appropriate options in many other design goals; for example, to minimize the investment costs and operating expenses [2].

In the chemical process, the engineering design problems have been studied in two ways: (1) the unit operation level and (2) the overall system design level. Pinch analysis considers the system design problems to identify opportunities for energy saving and modification of existing plants or designing a new cost-saving plant. The implications of this approach are simple and easy and make it possible to deal with more complex problems. This approach focuses on simple values rather than complex mathematics. Hot and cold flows in a process are identified and shown in a

temperature-enthalpy diagram [3]. The analysis work starts from individual streams and is done by simple sum of the values of above heating temperature range and all streams hot and cold composite curves in a process. The results of the two streams of hot and cold composite curve and overlap between composite curves show the maximum amount of possible heat recovery in the process [4]. Excessive heat out of the hot composite curve represents the minimum required amount of external cooling. Similarly, out of the cold composite curve represents the minimum required amount of external heat. Both curves reach exactly at the same point which is called Pinch.

Pinch is a sub point where heat is source of the system, such as heat moves toward the cooling equipment, but do not enter. There is a heat sink on the top of the Pinch system. Heat enters the thermal heating equipment, but not out [5]. As a result, this system is separated into the process overall hot and cold equipment in a pinch point that indicates the degree of additional heating or cooling in the system. In the system with maintained required heating and cooling, throughout the pinch hot currents are zero. This system is a system in which the equipment goals are very close to the desirable condition [6]. The heat balance in a system with the external heating exceeds the minimum required in the process represents heat flow across pinch; therefore, additional external cooling is needed [6]. Recently, Heat Integration across plants is an extension of conventional Heat Integration in a single plant for further improving energy efficiency [7, 8, 9].

In this paper, phases 9 and 10 of the gas condensate stabilization unit of the South Pars Gas Field in the Persian Gulf are optimized using the heat integration design method and Pinch composite curves. Simulation tools have been used to achieve composite curves, and stabilizing process was designed and simulated in Aspen HYSYS specialized software.

## Material and Methods

### 1. Process Description

In this refinery project, the gas condensate unit of Phases 9 and 10 of the South Pars gas field have been chosen for optimization and analysis.

The South Pars / North Dome field is a natural gas condensate field located in the Persian Gulf. It is the world's largest gas field, shared between Iran and Qatar. According to the International Energy Agency (IEA), the field holds an estimated 1,800 trillion cubic feet (51 trillion cubic metres) of in-situ natural gas and some 50 billion barrels (7.9 billion cubic metres) of natural gas condensates. Phases 9 and 10 produce 2 billion cubic feet (57 million cubic metres) per day of natural gas, 75 million cubic feet (2.1 million cubic metres) per day of ethane, 80,000 barrels per day (13,000 m<sup>3</sup>/d) of condensate, 3000 tons of LPG per day plus 400 tons of sulfur per day.

Here is the process occurred (Under winter conditions); in this unit, the feed which is a mixture of mainstream condensate (stream 10) and lateral condensate (stream 11) which is a raw gas condensate taken from the sludge is preheated with 231500 kg/h flow in the +5.683 °C operating conditions and 3000 kPa pressure in the E-101 heat exchanger to a temperature of +50 °C. Given that the feed is very diverse cutting oil including hydrocarbons from C6 Cut (less than C6 hydrocarbon) to C20+(more than C20), so according to phases 9 and 10 to archive access, the physical characteristics of the oil cut were obtained. Output current of the E-101 exchanger at T=+50 °C and a pressure of 2900 kPa with other sub-stream (stream 30) enters into D-101 three-phase separator at T=+19.62 °C and P = 2800 kPa operating conditions; In this three-phase separator under the operating conditions of T=+50 °C and a pressure of 2800 kPa, the vapor phase (stream 28), the heavy liquid phase (this phase consisted of water and glycol used to prevent hydration of the condensate in the injection well), and the organic phase (gas condensate) are separated from each other. The separated vapor phase is sent to off gas unit. The aqueous phase will be sent glycol restore unit to restore and reuse glycol. Condensate from the separator D-101 (stream 13) first enter the P-101 pump and reach to the pressure of 3720 kPa, the output of the pump is preheated to +72 °C in heat exchanger E-102 and enters Condensate Desalter for washing, fresh water is injected into the condensate flow for higher washing operation. The remaining water and glycol is sent to glycol restore unit. The condensate that is free of glycol enters into the stabilizer tower with condensate stream (stream 35) obtained from the compress unit at a temperature of +63.29 °C and pressure 1050 kPa. The C-101 stabilizer tower is originally the heart

of the process of stabilization unit, in this tower separating the light compounds from crude condensate operations (stream 15) by the fractionation occurs. C-101 towers consists of 19 sorting tray (regardless of reboiler and condenser) has a thermo-siphon reboiler and fully reversible condenser. Stream 15 enters from the upper tray, the overhead vapor enters the condenser at  $T=+69\text{ }^{\circ}\text{C}$  (air cooler A-104) and will be condensated to  $T=+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Due to the presence of water vapor in the overhead reflux drum (D-107) is a three-phase separator. In this vapor phase separator (stream 24), the aqueous phase (sour water) and the organic phase (stream 23) are separated from each other (according to the condensation temperature of the aqueous phase cannot be separated). The aqueous phase which is the tower reflux reaches to the 10 times absolute pressure in P-102 pump and returns to the upper tray (19th tray). At the bottom of the tower the heat required for the separation is supplied using Thermo siphon Reboiler (E-103). Heavy concentration in the liquid phase reaches its maximum value at the bottom of the Stabilization tower; however, at the disposal almost all light gases particularly hydrogen sulfide style will be close to zero, heat supply fluid is high pressure steam with intensity of 18020 kg/h. E-104 side reboiler is used in the process of heat output of E-103 reboiler. The lateral-flow from the 9<sup>th</sup> tray enters E-104 heat exchanger and again, after the exchange with the bottom of the tower C-101 products will be returned to the 8<sup>th</sup> tray, through this, E-103 reboiler energy consumption will be saved. The C-101 Tower bottom product after being exchanged with the stream flowing down from the 9<sup>th</sup> tray reaches at  $+137\text{ }^{\circ}\text{C}$  and will be sent to E-102 exchanger under 1000 kPa pressure. The condensate product and the organic phase output of P-101 pumps are in heat exchange and enter into A-101 air cooler at temperature of  $111\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The condensated stream is cooled down to  $+92\text{ }^{\circ}\text{C}$  at A-101 air cooler spending totaling 2.5 MW energy and enters into E-101 heat exchanger by 880 kPa pressure. In this exchanger the raw condensate flow temperature rises to  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  using the established product stream (hot stream). The condensate output of the exchanger with a temperature of  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enters into D-106 tank. The operating conditions of the tank D-106 are  $T=+41\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $P = 100\text{ kPa}$ . The condensate input into the tank is with a good quality and has very favorable conditions for transport and storage requirements. The aim of compression is to increase the gas separated from the separators pressure and the C-101 tower to send them to a sweetening unit. On the other hand, given that after each compression stage the gas temperature increases so an air conditioner compressor is used for cooling compressor output after each compressor. Heavier compounds may condensate by reducing the temperature of the compressed gas, thus vertical two-phase separator are used after air coolers (general description of the compression). In refinery, phases 9 and 10 condensate steams from the gas condensate unit enter into D-102 two-phase separator as the off gas at a pressure of 970 kPa (outlet of the stabilizer tower condenser) to eliminate the possible fluids. Operating conditions of the separator are:  $T = +58\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $P = 860\text{ kPa}$ . The outlet vapor of the separator enters into the K-101 compressor and reaches to the 2770 kPa pressure, immediately the K-101 compressor outlet gas is cooled down at the A-102 air conditioner at the temperature of  $+132\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and enters into D-110 vertical separator, the operating conditions of the separator are:  $T=+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $P = 2770\text{ kPa}$ . Output steam from D-110 and the steam separated from D-101 three-phase separator (stream 28) enter into the D-103 vertical separator, the operating conditions of the separator are:  $T = +53\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $P = 2770\text{ kPa}$ . The purpose of this separation is the extraction of condensates that come from combining the two vapor streams (stream 29). The output vapor of the separator D-103 enters the K-101 compressor (second stage) and reaches to 7070 kPa pressure, quickly exhaust gas of air compressor which is cooled down in A-103 air fan to the temperature of  $+81\text{ }^{\circ}\text{C}$  and is sent high to the pressure separator (stream 27) (Figure 1) [10].

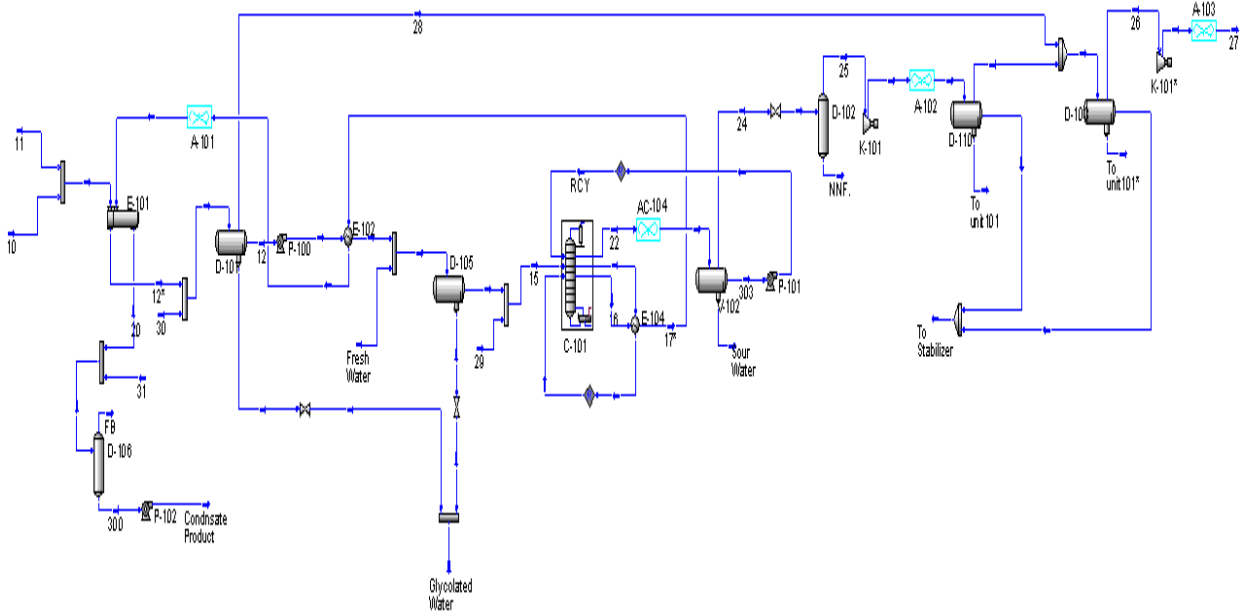


Figure 1: Simulation of the stabilization process (the distillation and compression) using Aspen HYSYS software

This process flow diagram (PFD) of the gas condensate unit was simulated in the Aspen HYSYS software. Table 1 presents the physical property of the raw gas condensate which is used in the simulation. The Peng Robinson (PR) equation state was used for simulation.

Table 1. Physical property of the raw gas condensate

	Components	MW	SPGR	TC (°C)	PC (bar)	Acentric factor
	C6CUT	84	0.690	234.65	32.82	0.271
	C7CUT	96	0.727	269.05	31.51	0.310
	C8CUT	107	0.749	297.45	29.51	0.349
	C9CUT	121	0.768	325.15	27.37	0.392
	C10CUT	134	0.782	349.05	25.30	0.437
	C11CUT	147	0.793	370.15	23.51	0.479
	C12CUT	161	0.804	390.75	21.93	0.523
	C13CUT	175	0.815	409.05	20.75	0.561
	C14CUT	190	0.826	427.45	19.58	0.601
	C15CUT	206	0.836	445.75	18.48	0.644
	C16CUT	222	0.843	460.75	17.44	0.684
	C17CUT	237	0.851	476.25	16.55	0.723
	C18CUT	251	0.856	487.45	15.86	0.754
	C19CUT	263	0.861	497.95	15.24	0.784
	C20+	385	0.850	530.00	11.18	0.790

The heart of the gas condensate unit is distillation tower (Figure 2). Therefore, the detailed design of the equipment provides a significant contribution to the results of real consequences. The Reboiled absorber option in the Aspen HYSYS was chosen for the distillation Tower (C-101). Operating condition for the tower simulation was shown in Table 2.



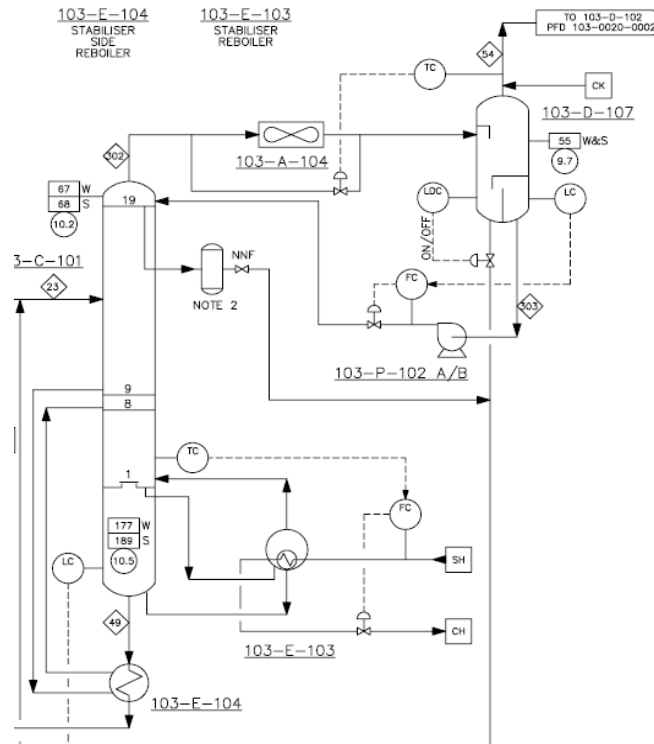


Figure 2: PFD of the C-101 distillation tower

Table. 2 operating condition of C-101 column

	Top Tower	Bottom tower
Pressure (bar (abs))	10.4	10.7
Temperature (°C)	69 to 71	178 to 190
Condenser Pressure drop	50	-

**Results and discussion**

The integration design method generally includes the following steps:

1 – Simulation and process design using commercial Aspen HYSYS software:

This stage involves careful review of process maps and data mining required for software entry (Figure 1);

2 – Check to process from Integration perspective: at this stage, the process needs and resources will be identified; the process of stabilizer unit include cooling outlet hot gas of the K-101 and A-102 and A-103 air fan compressors; given the low temperature of the gas stream entering the stabilizing unit, the flow is considered the heat possibility (cooling) of the process;

3 – Thermal optimization scenario: this section seeks to identify the need and process features of process-process heat exchanger to exchange energy and the elimination of direct energy (the air fan is recommended);

4 – Call the feasibility of optimization scenarios using Energy Analysis:

In this section using the energy analysis conventions defined for the hot and cold streams, we will study the feasibility of scenarios. Given the unit 103 energy analysis, raw stream of incoming condensate is a good option because it has the necessary and sufficient condition for cooling:

1 – The temperature of the crude condensate is much lower than the temperature of the air fan exhaust;

2 – The flow rate of the crude condensate is multiple than that of the output current of air cooling;

3 – According to the dual terms, the ability of crude condensate stream for cooling the compression unit exhaust gas condensate form the unit 103 can be expressed as: based on the

simulation results the energy consumption in both air coolers is 2.5 MW, thus to reduce the energy consumption the used stream first must be greater than 2.5 MW, and second its temperature be less than the output air energy fan. Whatever the flow temperature is the lower a smaller heat exchanger is required with the less investment costs. Based on simulation results, the crude condensate stream energy equal to 782400000 kJ-hour that given its low temperature, it can be said that the stream has great potential to meet the cooling needs of compression, this is also proven by the simulation results. Crude condensate stream at +5.68 °C and a flow rate of 231500 kg/h with energy rate of 782400000 kJ-hour, first exchanges heat in the E-100 heat exchanger and K-101 compressor output and hot stream is cooled down to the desired temperature without using the A-102 air cooler to designed optimal temperature (+60 °C); during the exchange of heat cold stream temperature reaches to +15.21 °C;

4 – Cold stream leaves E-100 exchanger at +15.21 °C temperature and enters into E-101 heat exchanger that has been used to replace the A-103 air fan to cool down K-101 compressor exhaust gas. In the E-101 heat exchanger the transmitted heat rate between the hot and cold streams is 1471 kW (the result of the HYSYS). The cold flow temperature after the heat exchange in the E-101 heat exchanger is equal to +24.34 °C (Figure 2). Finally, the crude condensate stream leaves the E-101 heat exchanger at the temperature of +24.34 °C and will be sent to the beginning of the process where it enters the E-101 heat exchanger;

5 – The study process re-simulation scenarios based on the defined scenarios in step 3, and the results analysis:

At this stage, the scenario defined in step 3 will be applied in the process using Aspen HYSYS software (Figure 3);

6 – A comparison of the current process and the optimized process:

In this section, the current process will be compared with the optimized process.

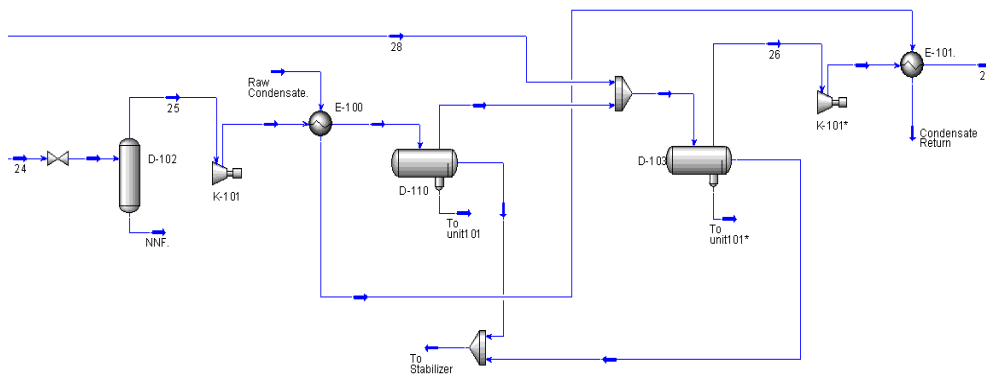


Figure 3: The optimized design and heat exchanger network modification of the compression unit 103 (removal of air cooler and replacement of heat exchangers)

After simulation of the current process and its resultant composite curve (Fig. 4), it was determined that in the whole operating unit 103 site, before the node or the Pinch (black squares in Figure 4), the amount of 5000 kW external cooling system is required. Composite curves have bottleneck called Pinch point that is a limit to heat recovery.

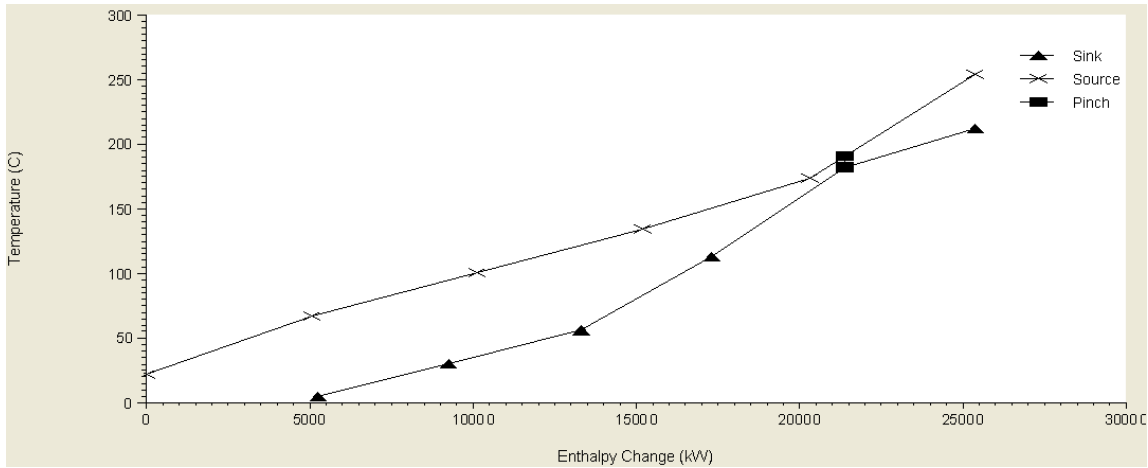


Figure 4: Pinch composite curves diagram for the unit 103 current process (stabilizing unit)

One way to make the composite curves parallel is to move some of the nodes to other temperatures and or complete elimination of some nodes with the main focus on the area near the process Pinch. In addition, the basic feature of having an area of low temperature on the Pinch and a region with excess heat under the process pinch provides an instruction on how to modify the process to increase the potential for heat recovery. The use of heat exchangers instead of air coolers in compressing section as the optimization scenario based on 6 stages was presented to move Pinch point with no limits in the heat recovery on total site (Figure 3). As a result of this scenario application, A-102 and A-103 air coolers will be eliminated from the process using crude condensate feed stream of (cooling fluid) and their energy consumption will be recovered (Figure 5).

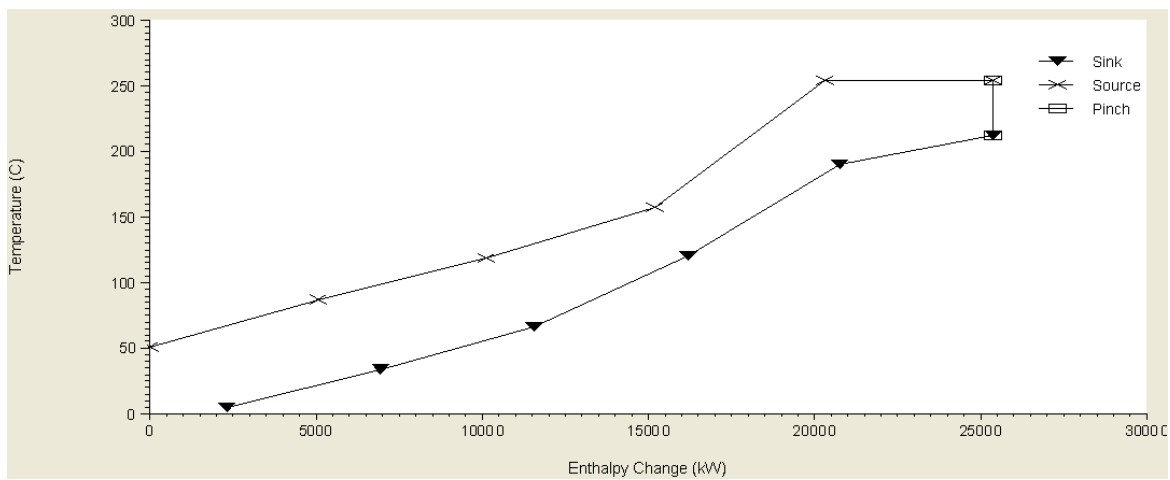


Figure 5: Pinch composite curves diagram for the integrated process (Pinch point movement and cooling energy reduction throughout the whole site)

Given the composite curves diagram for the integrated state (Figure 5), it is clear that heat exchanger network modification will lead to Pinch point (node) movement and a reduction in total energy recovery limitation in the whole site. Finally we can say that the stabilizing process thermal integration will also reduce operating costs (unit 103) in addition to the recovery of 2.5 MW of electric power and heat exchanger network modification of the entire site

**Conclusion**

The gas condensate stabilization unit of the South Pars Gas filed was simulated and optimized using the integration design method and Pinch composite curves have been used for this purpose. The process was simulated with Aspen HYSYS software with Ping Robinson equation state. Simulation tools have been used to achieve composite curves. Simulation results reveal that using the feed flow as the energy integration factor (for cooling) and using heat exchanger

(Integration Exchanger) instead of the current air coolers, 2.5 MW electric power will be saved in addition to deleting the air coolers (A-102 and A-103) and reducing operating costs amounted to 90190 \$ per year.

**References:**

1. L. Eriksson, S. Hermansson. *Pinch analysis of Billerud Karlsborg, a partly integrated pulp and paper mill*. Master's thesis, Heat and Power Technology, Energy and Environment. – Göteborg: Chalmers University of Technology, 2012.
2. E. Axelsson, M. Olsson, T. Berntsson. Heat integration opportunities in average Scandinavian kraft pulp mills: Pinch analyses of model mills. *Nordic Pulp and Paper Research Journal* 21, 2012, 466–475.
3. Linnhoff B., Flower J.R. A Thermodynamic Approach to Practical Process Network Design. Aich 72nd Annual Meeting, November 25–29. – San Francisco, Paper No 28b, 2012.
4. Polley G.T., Athie R., Gough M., Use of Heat Transfer Enhancement in Process Integration, *Heat Recovery System, Chp.* 2013, 12(3), p. 191.
5. Klemes F. Friedler I. Bulatov P. Sustainability in the process industry – Integration and optimization. – New York: McGraw-Hill, 2012.
6. Ciric A.R., Floudas C.A. A Mixed Integer Non Linear Programming Model for Retrofitting Heat Exchanger Network, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2013, 29, 239–251.
7. Y. Wang, C. Chang, X Feng. A systematic framework for multi-plants Heat Integration Combining Direct and Indirect Yeat Integration methods. – Energy, Elsevier, 2015.
8. A. Alabdulkarema, Y. Hwangb, R. Radermacherb, Multi-functional heat pumps integration in power plants for CO<sub>2</sub> capture and sequestration, *Applied Energy* 2015, 147, 258–268.
9. F. Kianfar, S.R. Mahdavi Moghadam, E. Kianfar, Energy Optimization of Ilam Gas Refinery Unit 100 by using HYSYS Refinery Software, *Indian Journal of Science and Technology*, 2015, 8(S9), 439–444.
10. *National Iranian oil company, Document of south pars gas field company (SPGC), 9 & 10 phases, unit 103.*