

# ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 622.691

## АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ І ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОТУРБІННИХ І ЕЛЕКТРОПРИВОДНИХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ (ГПА)

*В.К.Орлова, Ю.В.Чучук*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. (03422) 43404*

*e-mail: publi@nung.edu.ua*

*Проаналізовано економічну і енергетичну ефективність роботи газотурбінних і електроприводних газоперекачувальних агрегатів за фактичними даними газотранспортних підприємств, виділено переваги і недоліки обох типів двигунів.*

Ключові слова: газотурбінні ГПА, електроприводні ГПА, компресорна станція

*Проанализирована экономическая и энергетическая эффективность работы газотурбинных и электроприводных газоперекачивающих агрегатов по фактическим данным газотранспортных предприятий, выделены преимущества и недостатки обоих типов двигателей.*

Ключевые слова: газотурбинные ГПА, электроприводные ГПА, компрессорная станция

*In the article is analysed economic and power efficiency works of a gas-turbine and electric gas-pumping aggregates from actual data of gas-transport enterprises and considered advantages and lacks of both types of engines.*

Keywords: gas-turbine GPA, electric GPA, compressor station

**Вступ.** В світлі останніх подій, які відбуваються на енергетичному ринку України, все більша увага приділяється економії і мінімізації витрат.

Багато конфліктних ситуацій виникало через так званий «несанкціонований відбір» російського газу як палива для його транспортування на захід. Це вимагає пошуку альтернативних джерел енергоресурсів для транспортування газу. Історично склалося, що перші ГПА були електроприводними. Так зокрема в 1964 р. частка електроприводних ГПА в СРСР складала 60,6%. [1] Багато науковців і зараз звертають увагу на доцільність ширшого застосування електроприводних ГПА.

**Постановка завдання.** Станом на 2008 рік частка газотурбінних ГПА і газомотокомпресорів (ГМК) у структурі Газотранспортної системи України складає 77%, електроприводних ГПА – 23%. [1] Висока частка газотурбінних агрегатів у структурі газотранспортної системи України була закладена ще в роки існування СРСР. Мета статті проаналізувати економічну і енергетичну ефективність комприму-

вання газу газотурбінними та електроприводними ГПА.

**Результати.** Кожен з видів палива має свої переваги і недоліки (див. табл. 1).

Для аналізу ефективності застосування газотурбінних та електроприводних ГПА було використано фактичні дані КС «Бар-2» Барського ЛВУМГ УМГ «Черкаситрансгаз» за 2008 рік.

КС "Бар-2" ідеально підходить для аналізу, оскільки має у своєму складі дві компресорні станції:

- КС-37 – три ГПА з газотурбінним приводом типу ГПА-25С з системою автоматичного керування (САК) ГПА типу "ССС";

- КС-37Б – три ГПА з електроприводом типу ЕГПА-25рч з САК ГПА типу "СУРФ "Інек".

За своєю потужністю і технічними характеристиками КС-37 і КС-37Б є співрозмірними: обидві мають у своєму складі по три ГПА потужністю 25МВт кожен. Загальна потужність станцій – 75 МВт.

Таблиця 1 – Переваги і недоліки природного газу і електроенергії як палива для ГПА

Вид палива	Природний газ	Електроенергія
<b>Переваги</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>зручність використання природного газу, що транспортується, як енергетичного джерела для роботи ГПА</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>високий ККД електроприводних ГПА</li> <li>низька вартість ремонтних робіт</li> <li>можливість легкого запуску і зупинки двигуна</li> <li>можливість використання для споживання електроенергії в нічний час (для відбору зайвих потужностей електростанцій)</li> </ul>
<b>Недоліки</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>низький ККД газотурбінних двигунів</li> <li>швидше зношування деталей і потреба у високовартісних ремонтах</li> <li>важкість запуску і зупинки двигуна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>потреба у закуповуванні електроенергії в сторонніх підприємств</li> <li>потреба в силовій мережі електропостачання</li> </ul>

Таблиця 2 – Визначення вартості паливного газу і газу на додаткові потреби, витраченого по КС-37 в 2008 р.

Місяць	Напрацювання, год.	Витрата пал. газу, куб.м.	Додатковий газ, куб.м.	Ціна газу, грн.	Вартість	Вартість дод. газу, грн.
січень	1 494	8 382 700	138 287	934,7	7 835 309,69	129 256,86
лютий	1 296	7 229 591	113 902	934,7	6 757 498,71	106 464,20
березень	1 495	8 318 721	115 607	934,7	7 775 508,52	108 057,86
квітень	1 440	8 261 558	94 803	934,7	7 722 078,26	88 612,36
травень	1 384	7 756 654	84 155	934,7	7 250 144,49	78 659,68
червень	1 445	8 335 401	87 935	934,7	7 791 099,31	82 192,84
липень	1 492	8 964 638	83 825	934,7	8 379 247,14	78 351,23
серпень	1 488	8 906 763	78 799	934,7	8 325 151,38	73 653,43
вересень	1 445	8 336 107	247 300	934,7	7 791 759,21	231 151,31
жовтень	1 489	8 899 060	107 706	934,7	8 317 951,38	100 672,80
листопад	1 396	8 166 546	121 265	1043,35	8 520 565,77	126 521,84
грудень	1 488	8 935 003	111 604	1152	10 293 123,46	128 567,81
<b>Всього</b>	<b>17 352</b>	<b>100 492 742</b>	<b>1 385 188</b>		<b>96 759 437,32</b>	<b>1 332 162,22</b>

Таблиця 3 – Визначення вартості електроенергії і газу на додаткові потреби, витраченого по КС-37Б в 2008 р.

Місяць	Напрацювання, год.	Витрата ел. енергії, кВт год.	Ціна ел. енергії, грн.	Вартість, грн.	Розхід дод. газу, куб.м.	Ціна газу, грн.	Вартість дод. газу, грн.
січень	908	20371692	0,3007	6 125 767,78	54 889	934,7	51 305
лютий	799	18702948	0,3098	5 794 173,29	46 699	934,7	43 650
березень	1012	22478544	0,3185	7 159 416,26	61 810	934,7	57 774
Квітень	916	20912628	0,3262	6 821 699,25	51 091	934,7	47 755
травень	1381	29942484	0,3372	10 096 605,60	86 945	934,7	81 267
червень	1217	27200448	0,3545	9 642 558,82	76 770	934,7	71 757
липень	408	9795852	0,3707	3 631 322,34	34 700	934,7	32 434
серпень	496	11397540	0,3876	4 417 686,50	25 185	934,7	23 540
вересень	492	11451528	0,4068	4 658 481,59	30 253	934,7	28 277
жовтень	522	11915508	0,4221	5 029 535,93	39 541	934,7	36 959
листопад	0	168168	0,4359	73 304,43	9 127	1043,35	9 523
грудень	0	186648	0,5846	109 114,42	1 944	1152	2 239
<b>Всього</b>	<b>8151</b>	<b>184523988</b>		<b>63 559 666,22</b>	<b>518 954</b>		<b>486 480</b>

Проведемо аналіз економічної ефективності роботи газотурбінних і електроприводних газоперекачувальних агрегатів. Для цього скористаємось класифікацією всіх виробничих витрат за економічними елементами.

Основним елементом витрат, що впливає на порівняння доцільності застосування електроприводних газоперекачувальних агрегатів для транспортування природного газу, є матеріальні витрати – а саме вартість енергоносія (паливний газ або електроенергія).

Для того, щоб визначити витрати на енергоносії в 2008 році по станції КС «Бар-2», визначимо вартість витраченого паливного газу, газу на додаткові потреби та електроенергії по станціях КС-37 і КС-37Б.

Важливим чинником є також вартість ремонтних робіт. В деяких випадках вартість ремонтів газоперекачувальних агрегатів може відрізнятись у десятки разів. Так, вартість капітального ремонту газотурбінного агрегату ГТК-25І в 2006-2007 рр. Богородчанського ЛВУМГ становила 29 млн. 434 тис. грн., а вартість капітального ремонту електроприводного ЕГПА-25рч аналогічної потужності в 2008 р. – 557 тис. грн., тобто приблизно в 53 рази менше.

Фактична вартість всіх видів ремонту по КС «Бар-2» Барського ЛВУМГ УМГ «Черкаситрансгаз» в 2008 р. складала:

- газотурбінних ГПА на КС-37 – 5 424 503,15 грн.
- електроприводних ГПА на КС-37Б – 236 493,42 грн.

Величина витрат на заробітну плату і соціальне страхування теж є досить значною, проте вона не чинить значного впливу на різницю у вартості експлуатації газотурбінних і електроприводних газоперекачувальних агрегатів, оскільки штатним розписом для обох станцій передбачено однакову кількість працівників з приблизно рівними окладами.

Фактичні витрати на оплату праці і соціальне страхування по КС «Бар-2» Барського ЛВУМГ УМГ «Черкаситрансгаз» в 2008 р. склали відповідно:

- КС-37 – 1285000,00 і 471700,00 грн.;
- КС-37Б – 1350000,00 і 500700,00 грн.

Для того, щоб порівнювати економічну ефективність роботи газотурбінних і електроприводних газоперекачувальних агрегатів, найкращим показником була б собівартість транспортування тис. м<sup>3</sup> газу. Проте існує ряд чинників, які не завжди дозволяють її об'єктивно обчислити:

1. Не завжди існує можливість обчислити, яку роботу виконав той чи інший агрегат з позицій щодо перетранспортованого газу.

Для прикладу, в 2008 р. через КС-39 «Прогрес» Богородчанського ЛВУМГ УМГ «Прикарпаттрансгаз» перетранспортовано 25 466 850,528 тис. м<sup>3</sup>, проте агрегатами – лише 353 775,080 тис. м<sup>3</sup>. Це означає що через станцію всього пройшло 25 466 850,528 тис. м<sup>3</sup> газу, проте станція прийняла участь в компримуванні лише 353 775,080 тис. м<sup>3</sup>. Решта газу пройшла через станцію так званним транзитом.

2. Важливим показником є також тиск газу на вході і виході з компресорної станції. Адже кожна компресорна станція не є відокремленою, а працює у зв'язці (як взаємопов'язана система), і тиск газу на виході зі станції – робота не лише даної станції, але і всіх попередніх, які створили тиск на вході в станцію.

3. Слід також враховувати показник відстані і географічні особливості місцевості. Адже при транспортуванні 1000 м газу на 1 км буде виконана одна робота, а на транспортування на 10 км – зовсім інша. Крім того, має значення рельєф місцевості, кількість і висота підйомів тощо.

Тому для порівняння економічної ефективності газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів скористаємось собівартістю 1 год. роботи ГПА. Дані показники будуть співрозмірними, оскільки потужності агрегатів є однаковими.

Отже, як видно з табл. 3, собівартість 1 год. роботи газотурбінного ГПА-25с становить 7034,93 грн., а електроприводного ЕГПА-25рч – 7960,48 грн. (що на 13,15% більше).

Також важливо порівняти енергетичну ефективність роботи газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів.

Для порівняння енергетичної ефективності порівняємо виконану роботу і її втрати газотурбінними і електроприводними газоперекачувальними агрегатами. У фізиці *робота* – величина, яка характеризує перетворення *енергії* з одного виду в інший, що відбувається в даній фізичній системі.

Нормативна витрата паливного газу на ГПА-25с складає 9000 нм<sup>3</sup>/год.

Нормативна витрата електроенергії на ЕГПА-25рч складає 25 МВт·год.

Враховуючи енергетичне відображення виконаної роботи, приведемо їх до спільних величин.

Теплотворна здатність природного газу складає 32,7 МДж/м<sup>3</sup>. [2] Отже, для роботи одного агрегату ГПА-25с протягом години за нормами витрачається енергія в розмірі 294 300 МДж.

Для переведення електроенергії в виконану роботу використовується співвідношення 1 кВт·год = 3,6 МДж. Отже, для роботи одного агрегату ЕГПА-25рч протягом години за нормами витрачається 90 000 МДж енергії.

Отже, як видно з даних розрахунків, для виконання однієї і тієї ж роботи газотурбінного агрегату ГПА-25с потрібно витрати приблизно в 3,27 рази більше енергії, ніж на електроприводному агрегаті ЕГПА-25рч.

Також приблизно те ж саме відхилення можна отримати, порівнявши коефіцієнти корисної дії газоперекачувальних агрегатів. Адже вражає їх різниця щодо газотурбінних і електроприводних агрегатів. Коефіцієнти корисної дії газотурбінних ГПА всередньому складають 27-32% (ККД сучасних ГПА досягають 36% і більше), в той час як електроприводних – 93-98%.

Таблиця 4 – Визначення собівартості 1 години роботи газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів

Статті витрат	Од. виміру	КС-37 (газотурбінні ГПА)	КС-37Б (електроприводні ГПА)
<b>ВАРТІСНІ ПОКАЗНИКИ</b>			
Матеріальні витрати:			
газ	грн.	113556798,00	
електроенергія	грн.		62312234,00
додатковий газ	грн.	1332162,22	486480,38
Витрати на оплату праці	грн.	1285000,00	1350000,00
Витрати на соціальне страхування	грн.	471700,00	500700,00
Витрати на ремонт	грн.	5424503,15	236493,42
<b>РАЗОМ</b>	<b>грн.</b>	<b>122070163,37</b>	<b>64885907,80</b>
<b>НАТУРАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ</b>			
Напрацювання	маш.год	17352	8151
Розхід паливного газу	м <sup>3</sup>	100492742	
Розхід електроенергії	кВт.год		184523988
Додатковий розхід газу	м <sup>3</sup>	1 385 188	518 954
<b>Собівартість год. роботи</b>	<b>грн.</b>	<b>7034,93</b>	<b>7960,48</b>

На аналізованих станціях згідно технічної документації ККД ГПА-25с складає 30%, а ККД ЕГПА-25рч – 93,5-98%.

Згідно з дослідженнями Нормативно аналітичного центру ДК «Укртрансгаз» в 2006 р. ККД ГПА на станції КС-37 складав 30,3%-31%, а ККД ЕГПА КС-37Б – 94,8%.

Також для порівняння енергетичної ефективності газоперекачувальних агрегатів порівнюють середні витрати умовного палива на компримування однієї тисячі м<sup>3</sup> природного газу. Так, згідно з висновками експертної комісії Нормативно-аналітичного центру ДП «Укртрансгаз», яка проводила аналіз ефективності експлуатації газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів ДК «Укртрансгаз» за даними КС «Бар-2», з енергетичної точки зору перекачувати природний газ за допомогою електроприводних ЕГПА-25рч вигідніше, ніж за допомогою газотурбінних ГПА-25С, тому що:

– за результатами розрахунків на компримування однієї тисячі м<sup>3</sup> природного газу витрати умовного палива на електроприводних ЕГПА-25рч в 3,03 рази менші, ніж на газотурбінних ГПА-25С;

– за результатами фактичних спостережень за роботою ГПА обох типів на компримування однієї тисячі м<sup>3</sup> природного газу витрати умовного палива на електроприводних ЕГПА-25рч в 2,75 рази менші, ніж на газотурбінних ГПА-25С [1].

**Висновки.** За результатами проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

1. Природний газ і електроенергія як паливо для ГПА володіють певними перевагами і недоліками. До переваг природного газу належить зручність його використання як енергетичного джерела для роботи ГПА, а до недоліків – низький ККД газотурбінних двигунів, швидше

зношування деталей і потреба у високовартісних ремонтах, труднощі із запуском і зупинкою двигуна. Перевагами електроенергії є високий ККД електроприводних ГПА, низька вартість їх ремонтних робіт, можливість легкого запуску і зупинки двигуна, а також можливість використання для споживання електроенергії в нічний час (для відбору лишніх потужностей електростанцій, недоліками – потреба закуповувати електроенергію в сторонніх організацій і в силовій мережі електропостачання.

2. На підставі проведених розрахунків визначено собівартість 1 години роботи газотурбінних та електроприводних ГПА на КС «Бар-2» Барського ЛВУМГ УМГ «Черкаситрансгаз» в 2008 р. При цьому собівартість 1 години роботи електроприводних ГПА виявилась на 11,5% вищою. Основною причиною цього є нижча вартість паливного газу.

3. У результаті порівняння енергетичної ефективності компримування природного газу встановлено, що використання електроприводних ГПА є в 2,75 – 3,27 рази ефективнішим від газотурбінних ГПА.

#### Література

1 Аналіз ефективності експлуатації газотурбінних та електроприводних газоперекачувальних агрегатів ДК «Укртрансгаз» [текст] : звіт про техніко-економічні дослідження. – К.: Нормативно-аналітичний центр ДК «Укртрансгаз», 2006. – 34 с.

2 Гірничий енциклопедичний словник [текст] : в 3 т. ; за заг. ред. В.С.Білецького. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2001.

Т. 1 : – 2005. – 512 с. ISBN 966-7804-14-3

Стаття поступила в редакційну колегію  
11.01.10

Рекомендована до друку професором  
М. О. Данилюком