



ANALYSIS OF COMPRESSOR EQUIPMENT OPERATION OF INDUSTRIAL SYSTEM

Maria Raykova*, Ivaylo Cviyatkov

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 October 2019

Accepted 20 November 2019

Keywords:

industrial system, compressor, frequency inverter, energy, effect

ABSTRACT

An analysis was made of the operation of the industrial system compressor equipment for the two modes of operation with and without frequency controller. The effect achieved by the presence of a frequency controller is determined.

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сгъстения въздух е енергиен носител широко използван в много индустриални процеси. Установено е че разходите за получаване на сгъстен въздух са високи и достигат до 10% (а в отделни случаи и повече) от общото потребление на електроенергия в дадено предприятие.

За регулиране на производителността на компресорите се използват няколко основни метода: чрез байпас, периодично спиране, дроселиране в смукателната страна, регулиране чрез промяна на честотата на въртене.

Байпасирането представлява прехвърляне на газ от нагнетателния в смукателния тръбопровод чрез използването на съединителен тръбопровод и съответен затварящ елемент. В системата трябва да се предвиди и допълнителен охладител за връщания газ. Използването на байпас е неикономичен метод и се използва предимно като допълнително средство за регулиране.

Периодичното спиране на компресора се осъществява чрез спиране на двигателя или чрез разделяне на компресора от двигателя. Спирането прекъсва дебита, икономично е, но увеличава износването на двигателя и компресора при често включване и изключване. Периодичното спиране на компресора се явява рядко използван метод приложим при по-малките машини.

Чрез дроселиране в смукателната страна се намалява засмукването, от там - плътността на газа и съответно масовият дебит. За целта се използват специални регулатори, които се задействат от налягането в нагнетателния тръбопровод.

Предпочитано решение се явява регулирането чрез промяна на честотата на въртене. Чрез този метод за регулиране се постигат икономии на енергия от порядъка на 30 % и достатъчно бърза възвръщаемост на по-голямата начална инвестиция.

Често в дадено промишлено производство, различни по мощност и изработка компресори, са свързани в обща въздухо-преносна мрежа. В този случай изборът на правилната комбинация на работещи компресори и оптималната модулация на различни компресори може да намали значително потреблението на енергия.

В системата от един компресор за да може да се променя дебита в съответствие с този на консуматорите, е необходимо да се регулират оборотите на компресора. В случаите когато има система от няколко компресора с постоянен дебит то дебита на цялата система може да се регулира, чрез включване и изключване на отделни компресори.

Използването на поне един компресор с честотно регулиране позволява да се оптимизира режима на работа на цялата компресорна система. Когато повече от един компресор захранват общ колектор, компресорите следва да се експлоатират по такъв начин, че разходите за генериране на сгъстен въздух да са минимални.

- ако всички компресори са с еднакви параметри, настройката им по налягане може да се направи така, че само един от тях да поема променливото натоварване, а останалите да работят на постоянен режим с пълно натоварване;

- ако компресорите са с различни параметри, то следва датчиците им да бъдат настроени така че само най-малкият компресор да модулира (варира с дебита).

ИЗЛОЖЕНИЕ

В статията е направен анализ на работата на компресорна станция на промишлена система, оборудвана с пет винтови компресора с обща инсталирана мощност от 420kW.

Произведеният въздух от всички компресори се подава към три броя ресивери за сгъстен въздух, от

* Corresponding author. E-mail: maria_raykova@abv.bg

където се насочва към съответните консуматори и се използва за технологични нужди.

С цел намаляване на потреблението на електроенергия на един от компресорите (К3) е монтиран честотен регулатор, който регулира оборотите му в работен режим и режим на празен ход.

Направен е анализ на работата на компресорите за двата режима, със и без честотен регулатор. Анализът се базира на направени замервания на потребена енергия, продължителност и режим на работа на компресорите.

Определен е постигнатия ефект от наличието на честотен регулатор, като икономия на потребна и първична енергия, икономия на средства и намалени вредни емисии на CO₂.

Параметрите на винтовите компресори Ingersoll Rand в компресорната станция фиг.1 на промишлената система съответно са: компресори К1 и К2 с дебит Q₀ = 20m³/min и мощност P₀ = 110kW; компресор К3 – Q₀ = 16m³/min и P₀ = 90kW и компресори К4 и К5 с дебит Q₀ = 10m³/min и P = 55kW.



Фиг. 1. Компресорна станция

Анализът на потреблението на енергия при работа на компресорите, без и с честотен регулатор, е извършен въз основа на регистрирано време на работа на компресорите и отчетена консумация на електроенергия за период от четири пълни месеца – януари-април.

В таблица 1 (1.1 и 1.2) са приведени данни за продължителността на работа на всеки компресор при различни режими – включен, под товар и при разтоварване, и сумарно за всички компресори.

Табл. 1.1 Време на работа на компресори 1, 2 и 3

Месец	Компр. 1		Компр. 2		Компр. 3	
	run	load	run	load	run	load
	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
1	89	83	83	74	341	210
2	94	88	84	76	345	241
3	98	92	97	82	404	270
4	105	96	152	89	347	255
Σ	386	359	416	321	1437	976

Табл. 1.2 Време на работа на компресори 4, 5 и сумарно

Компр. 4		Компр. 5		Сумарно		
run	load	run	load	run	load	unload
hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
423	246	135	46	1071	658	412
383	258	108	35	1014	698	316
468	322	173	59	1240	825	415
487	363	184	84	1275	887	388
1761	1189	600	224	4600	3068	1531

За разгледания период отработените часове от компресорите са общо 4600, от които 33% са в режим на разтоварване.

В табл. 2 са приведени данни за доставеното количество съгъстен въздух (m³), потребена енергия (kWh) и специфичен разход (kWh/m³) на компресорите.

Потребената енергия от даден компресор е определена като:

$$P = HRS_{LOAD} * P_{LOAD} + HRS_{UNL} * P_{UNL} \quad (1)$$

където:

HRS_{LOAD}, HRS_{UNL} – часове на работа в режим под товар и при разтоварване;

P_{LOAD}, P_{UNL} – средна работна мощност в режим под товар и при разтоварване, установени при обследването.

Изчисленото за периода общо потребление на електроенергия от компресорите е равно на замереното.

Подаденото количество съгъстен въздух е определено като произведение от часовете работа в режим на натоварване и дебита на съответния компресор.

$$W = \sum_{i=1}^5 (HRS_{LOAD} \cdot Q_0)_i \quad (2)$$

Табл. 2 Специфичен разход на енергия

Компр.	Производство	Потреб. енергия	Спец. разход
	m ³	kWh	kWh/m ³
К1	430800	41023	0.09523
К2	385200	40578	0.10534
К3	1136064	150950	0.13287
К4	713160	89187	0.12506
К5	134280	23504	0.17504
Общо:	2799504	345241	0.12332

Анализът показва, че най-малък специфичен разход на енергия (kWh/m³) имат компресори К1 и К2, които имат най-висок относителен дял на работа под товар – над 93% от общото време на работа. За останалите компресори относителния дял на работа под товар е под 67% от общото време на работа и съответно имат по-висок специфичен разход (kWh/m³). Компресор 5 има най-голям относителен дял на работа в режим на разтоварване.

Общо за всички компресори времето на работа в режим на разтоварване е 33% от сумарното време на работа.

Анализът на потреблението на енергия от компресорите след монтажа на честотен регулатор е извършен въз основа на регистрирано време на работа на компресорите и отчетена консумация на електроенергия за период от една година.

В табл. 3 (3.1 и 3.2) са приведени данни за времето на работа на компресорите в различни режими, след монтажа на честотен регулатор.

Отработеното за периода време от компресорите е 16703 часа, от които само 15.3% са в режим на разтоварване.

Потребената енергия на компресор 3, който е снабден с честотен регулатор и работи с променливи параметри се замерва, а също така се замерва и общата потребена енергия от компресорите.

Табл. 3.1 Работа на компресори 1, 2 и 3 при наличие на честотен регулатор

Месец	Компр.1		Компр. 2		Компр. 3	
	run	load	run	load	run	load
	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
1	86	77	173	97	141	136
2	62	57	162	111	383	334
3	0	0	137	92	742	741
4	29	25	117	94	718	718
5	97	79	124	86	482	482
6	109	93	192	120	522	523
7	103	77	224	128	470	469
8	105	70	128	93	625	625
9	109	90	187	110	519	519
10	115	99	187	122	643	637
11	104	85	118	97	720	710
12	31	22	29	22	687	663
Σ	950	774	1778	1172	6652	6557

Табл. 3.2 Работа на компресори 4, 5 и сумарно, при наличие на честотен регулатор

Компр.4		Компр. 5		Сумарно		
run	load	run	load	run	load	unload
hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs	hrs
642	532	345	203	1387	1045	342
450	397	273	175	1330	1074	256
323	277	144	105	1346	1215	131
354	308	131	87	1349	1232	117
364	323	192	115	1259	1085	174
458	319	255	187	1536	1242	294
527	437	252	164	1576	1275	301
331	229	131	65	1320	1082	238
512	456	279	197	1606	1372	234
467	402	253	191	1665	1451	214
407	344	108	49	1457	1285	172
117	86	8	2	872	795	77
4952	4110	2371	1540	16703	14153	2550

В табл. 4 са приведени данни за доста-веното количество сгъстен въздух (m^3), потребената енергия (kWh) и специфичният разход (kWh/m^3) на компресорите при наличие на честотен регулатор.

Компресор 3 работи при променлива честота на въртене и неговия дебит за различните режими е определен отчитайки линейната му зависимост от честотата на въртене.

Табл. 4 Специфичен разход на енергия

Компр.	Производство	Потреб. енергия	Спец. разход
	m^3	kWh	kWh/m^3
K1	928800	96599.5	0.104005
K2	1406400	161549.6	0.114867
K3	4940203	464170	0.093958
K4	2466000	271760	0.110203
K5	924000	114715	0.12415
Общо:	10665403	1108794	0.103962

Ефективността на компресорите съществено зависи от периферната скорост на винтовете, докато ефективността на вентилаторите в голям диапазон от честоти на въртене практически е постоянна. При малки скорости (под 20 m/s) се появява обратно течение на въздух през периферна хлабина, а при скорости по-големи от 40m/s се създават интензивна турбулентност и недостатъчна компресия.

В резултат винтовите компресори с променлива честота на въртене работят с висока ефективност в ограничен отрязък от общия диапазон на възможното регулиране на дебита, който обикновено се декларира, че е между $(40 \div 100)$ % от номиналния дебит.

В конкретния случай режима на работа на компресор 3 е при висока ефективност, в диапазона $(65-100)$ % от номиналния дебит.

Компресор K3 работи почти непрекъснато под товар с променливи обороти. Средния му специфичния разход, при наличие на честотен регулатор, е $0,093958 kWh/m^3$, което е с 29,3% по-малко спрямо определения специфичен разход $0,132871 kWh/m^3$ при предишния режим на работа без честотен регулатор.

Специфичния сумарен разход на останалите компресори също намалява (но в по-малка степен) поради намаляване на времето на работа в режим на разтоварване.

Определен е специфичен разход на енергия преди реализиране на мярката

$$A_1=0,123322 kWh/m^3$$

след реализиране на мярката е

$$A_2=0.103962 kWh/m^3.$$

Реализираната икономия е:

$$\Delta A=A_1-A_2=0,01936 kWh/m^3$$

При годишен разход на сгъстен въздух от $W=10665403 m^3$, реализираната годишна икономия на енергия е:

$$\Delta E=W*\Delta A \quad (3)$$

$$10665403 m^3 * 0.01936 kWh/m^3 = 206487 kWh$$

Намалението на първичната енергия е в размер на 619,461 MWh или 53,2 тне.

Други параметри на реализираната мярка са: постигнати икономии на средства и намаление на отделените вредни емисии CO₂.

Годишни икономии на средства ΔΠ са в размер на 27670 лв., определени по зависимостта:

$$\Delta \Pi = \Delta E * \text{Ц} \quad (4)$$

където:

ΔE - икономия на ел.енергия, kWh;

Ц - средногодишна цена на електро-енергията, лв/kWh

Намалението, в годишен мащаб, на отделените вредни емисии е 169,113 тCO₂/г. и е определено по зависимостта:

$$t.CO_2 = \Delta E * f * 10^{-6} \quad (5)$$

където:

ΔE - икономия на ел.енергия, kWh;
 f - коефициент на екологичен еквивалент, за ел.енергия 819 gCO₂/kWh.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на честотен регулатор на един от компресорите позволява да се оптимизира режима на работа на компресорната станция.

Времето на работа на компресорите в режим на разтоварване намалява от 33%, спрямо общото време на работа, на 15,3%.

Общият специфичен разход за компресорната станция намалява от 0.12332 kWh/m³ на 0.103962 kWh/m³, което е намаление с 15,7%.

Специфичния разход на компресора снабден с честотен инвертор намалява от 0.13287kWh/m³ на 0.093958kWh/m³, което е намаление с 29,3%.

Извършения анализ позволява да се направи оценка на постигнатия ефект от използването на честотен регулатор. В конкретния случай се постига годишна икономия на потребна енергия от 206487 kWh и намаляване на вредните емисии със 169,113 т CO₂/годишно.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Crowe C., Engineering Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, 2009
- [2] Parr Andrew Hydraulics and Pneumatics, 2011 Andrew Parr. Published by Elsevier Ltd
- [3] Thumann A Handbook of Energy Engineering, The Fairmont Press, 2008
- [4] Fillipov I. Performance regulation of coil compressors, Science and Education, MSTU Bauman, Moscow 2013
- [5] Ordinance No. 7 of 2004 on the energy efficiency of buildings
- [6] Technical documentation of compressors