

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-7>

УДК 351

КОСТЮК Олег

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-4368-1753>

БУБЕЛА Тетяна

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-2525-9735>

ПЕРЕДУМОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Сьогодні для підземного зберігання природного газу та забезпечення безперебійного постачання природного газу споживачам, газотранспортні підприємства використовують газоперекачувальне обладнання з особливими експлуатаційними властивостями та технічними характеристиками, що працює за рахунок спалювання природного газу та займає 85-90% витрат енергоносіїв у структурі витрат підприємства. При проведенні вимірів параметрів технологічних процесів закачування та відбирання природного газу способом компримування газоперекачуючими агрегатами необхідне використання приладів та засобів вимірювальної техніки з певною точністю й обробки отриманих даних з метою розрахунку показників енергетичної ефективності газотранспортного підприємства. Виміри засобами вимірювальної техніки є базовими для оцінки фактичних локальних і системних показників енергоефективності підземних сховищ газу. Актуальність проблеми вдосконалення системи показників енергоефективності зберігання природного газу безпосередньо пов'язана з удосконаленням методик нормування енерговитрат, результатами аналізу фактичних витрат природного газу, з виявленням і наступним усуненням причин перевитрати природного газу відносно нормативних показників. Нормування витрат природного газу – це встановлення планової об'єктивно необхідної величини їх споживання на одиницю виробленої продукції, виконаних робіт або надання послуг встановленої якості. Велике значення при нормуванні витрат природного газу і виборі показників енергоефективності має вибір показника виконуваної роботи структурними підрозділами в технологічних процесах зберігання газу. Аналіз дотримання показників енергоефективності здійснюється шляхом порівняння фактичних питомих витрат природного газу з нормативними або іншими показниками енергоефективності, які відповідають даному технологічному процесу або його складовій частині. У практиці нормування та аналізу витрат природного газу використовуються різні показники обсягу виробництва: - для компресорних цехів – адіабатична робота стиснення; - для підземних сховищ – обсяг газу при закачуванні та відбиранні.

Адіабатична робота стиснення є цілком прийнятним показником вимірювання обсягу виробництва на рівні компресорних цехів, оскільки вона в цілому правильно відображає фізичну сутність процесу стиснення природного газу та відображає не обсяг виробництва ПЗГ, а лише частку обсягу необхідних енергозатрат. Енерговитрати на стиснення природного газу необхідні для здійснення процесу закачування та відбирання газу, яка розглядається як показник обсягу виробництва в процесі зберігання газу.

Ключові слова: енергоефективність, енергоспоживання, ризик, управління, енергоресурси, енергетичний баланс.

KOSTYUK Oleg, BUBELA Tetiana

Lviv Polytechnic National University

PREREQUISITES SIMULATION OF ENERGY EFFICIENCY PARAMETERS OF GAS TRANSPORT ENTERPRISES

Today, for underground storage of natural gas and ensuring uninterrupted supply of natural gas to consumers, gas transportation companies use gas pumping equipment with special operational properties and technical characteristics, which works by burning natural gas and occupies 85-90% of energy costs in the company's cost structure. When measuring the parameters of the technological processes of natural gas injection and extraction by means of compression by gas pumping units, it is necessary to use instruments and measuring equipment with a certain accuracy and to process the received data in order to calculate the energy efficiency indicators of the gas transportation enterprise. Measurements by means of measuring equipment are basic for evaluating the actual local and system indicators of energy efficiency of underground gas storages. The urgency of the problem of improving the system of indicators of energy efficiency of natural gas storage is directly related to the improvement of methods of normalizing energy consumption, the results of the analysis of actual consumption of natural gas, with the identification and subsequent elimination of the causes of overconsumption of natural gas relative to normative indicators. Standardization of natural gas consumption is the establishment of the planned objectively necessary amount of their consumption per unit of produced products, performed works or provision of services of the established quality. The selection of the indicator of the work performed by the structural units in the technological processes of gas storage is of great importance in the normalization of natural gas consumption and the selection of energy efficiency indicators. Analysis of compliance with energy efficiency indicators is carried out by comparing the actual specific consumption of natural gas with normative or other energy efficiency indicators that correspond to a given technological process or its component. In the practice of rationing and analysis of natural gas consumption, various indicators of the volume of production are used: - for compressor shops - adiabatic compression work; - for underground storage facilities – volume of gas during injection and withdrawal. Adiabatic compression work is a fully accepted indicator for measuring the volume of production at the level of compressor shops, since it generally correctly reflects the physical essence of the natural gas compression process and does not reflect the volume of LPG production, but only a share of the volume of required energy consumption. Energy costs for natural gas compression are necessary for the process of gas injection and withdrawal, which is considered as an indicator of the volume of production in the gas storage process.

Key words: energy efficiency, energy consumption, risk, management, energy resources, energy balance.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Моделювання та аналіз показників енергоефективності газоперекачуючого обладнання газотранспортних підприємств повинні базуватися на порівнянні планових (розрахункових) показників енергоспоживання енергоефективності та фактичних показників витрати паливного газу на роботу стиснення природного газу при компресорному закачування чи відбиранні природного газу. При цьому виникає порівняння з базовим еталонним значенням скорочення або збільшення споживання природного газу на роботу стиснення природного газу з аналізом порушення чи відсутності порушення екологічних та інших обмежень відповідно до діючих законодавчих та суспільних норм. При цьому створюється математична модель планових показників, що включають у себе впливні параметри (фізико-хімічні параметри природного газу, тиск, температура, час роботи обладнання його технічний стан та об'єм природного газу, що перекачується), що є визначальними при визначенні енергетичної ефективності роботи газоперекачуючого обладнання. Основною одиницею продукції газотранспортного підприємства є об'єм газу, що зберігається в підземному сховищі показником енергоефективності тоді буде норма питомих витрат природного газу на виконану роботу із закачування чи відбирання природного газу. При цьому одиниці виміру для палива будуть кілограми умовного палива. Одиниці вимірювання норм витрат природного газу відповідають одиницям, прийнятим у сфері планування та обліку витрат палива, електричної і теплової енергії та обсягів виробництва продукції (надання послуг), а також забезпечують можливість дієвого контролю за виконанням норм. Показники енергоефективності об'єктів системи зберігання газу класифікуються як показники енергоефективності:

- газоперекачувального агрегату;
- компресорного цеху;
- компресорної станції;

Показниками енергоефективності газоперекачуючого агрегату є:

- коефіцієнт корисної дії газоперекачуючого агрегату;
- питома витрата паливного газу на одиницю роботи стиснення газоперекачуючого агрегату.

Аналіз досліджень та публікацій

На забезпечення паливно-енергетичного комплексу високоєфективними технічними засобами і технологіями та кваліфікованими фахівцями робиться наголос в Енергетичній стратегії України до 2035 року (Денисюк С., 2016). Газопровідний транспорт є найбільш ефективним та єдиним видом транспорту в Україні для транспортування природного газу. Загальна протяжність газопроводів України складає 38 тис. км. Проте газотранспортна система (ГТС) України споживає близько 2% від всього споживання енергоресурсів України (Мазур І., 2012, Regional Indicators, 2019). Потрібно зауважити, що технічний стан та залишковий ресурс металоконструкцій та обладнання основних галузей господарства в Україні загрозливий, обладнання та конструкції, які відпрацювали свій нормативний термін і надалі залишаються в експлуатації. Діючі на даний час нормативні документи застаріли і не відповідають сучасним вимогам щодо безпечної експлуатації технологічних об'єктів і надійного їх захисту (Карпаш М., 2020). Климчук О. (2014) вважає, що технічний фактор відображає вплив технічного (технологічного) стану та рівня устаткування і обладнання на обсяги споживання енергоресурсів при виробництві продукції (послуг), а структурний фактор відображає вплив структурних змін у галузевій або міжгалузевій діяльності на обсяги споживання палива та енергії. Досвід свідчить, що вирішення проблеми безпеки систем газопостачання є першорядним завданням і силами тільки одних газових господарств вирішити його неможливо (Рудкін А. 2011). Тому до цього процесу повинні долучатись усі газотранспортні підприємства і комунальні також. Якісний склад газу також має вагомий вплив на енергоефективність газотранспортного підприємства і повинен відповідати встановленим нормам (Показники емісії, 2004). Тому його контроль є важливою складовою комплексу робіт з дослідження енергоефективності газотранспортного підприємства. Отже, оцінювання та прогнозування ризиків енергозбереження та енергоефективності вимагає системного підходу до процесу проведення досліджень.

Матеріали та методи

Показники енергоефективності можуть бути визначені за допомогою таких методів:

- розрахунково-аналітичного;
- розрахунково-статистичного;
- експериментального (дослідного);
- комбінованого.

Технічно обґрунтовані питомі показники енергоефективності витрат природного газу встановлюються розрахунково-аналітичним або комбінованим методами. Групові питомі показники енергоефективності витрат природного газу визначаються, як правило, розрахунково-аналітичним та розрахунково-статистичним методами, як середньозважені показники на базі питомих показників енергоефективності і відповідних обсягів виробництва однойменної продукції. Показники

енергоефективності КС визначаються розрахунково-аналітичним та експериментальним (дослідним) методами.

- Основними вихідними даними для визначення енергоефективності є:
- первинна технологічна документація (технологічні регламенти та інструкції);
 - фізико-хімічні параметри газу;
 - паспортні дані технологічного та енергетичного обладнання;
 - технічний стан енергетичного обладнання;
 - стандарти з енергозбереження;
 - міжгалузеві, галузеві та регіональні показники енергоефективності;
 - енергобаланси та енергетичні характеристики технологічного і енергетичного обладнання (заводські або визначені у процесі його експлуатації);
 - нормативні показники, що характеризують найбільш раціональні та енергетично ефективні умови виробництва (коефіцієнт використання потужності, показники витрат енергоносіїв та втрат енергії під час передачі та перетворення, санітарні норми, теплові характеристики приміщень тощо);
 - план-схема потоків газу на запланований або фактичний період у розрізі підземного сховища газу, компресорних станцій (КС) і компресорних цехів (КЦ);
 - дані про обсяги виробництва продукції, виконаних робіт або надання послуг встановленої якості;
 - дані про планові та фактичні питомі витрати природного газу за минулі періоди, а також акти перевірок використання палива виробництві;
 - дані енергетичних обстежень;
 - дані досвіду з економії та раціонального використання природного газу на вітчизняних та закордонних об'єктах, що випускають аналогічну продукцію;
 - план організаційно-технічних заходів з економії ПЕР.

Для оцінки ефективності споживання природного газу на технологічні потреби компресорної станції використовуються показники локальної і системної енергоефективності, наведені в таблиці 1.

Показник	Одиниця виміру	Позначення	Примітка
Показник локальної енергоефективності компресорної станції			
Питома витрата ПЕР ДКС	кг у.п./кВт·год	$b_{пер}^{КС}$	На одиницю сумарної адіабатичної роботи стиснення компресорної станції
Показник системної енергоефективності компресорної станції			
Питомий показник ефективності витрат ПЕР ДКС	кг у.п./млн м ³	$b_{пер\epsilon}^{КС}$	На одиницю обсягу газу при закачуванні та відбору за умов роботи компресорної станції

Наступним етапом було проведення обчислення й аналіз показників енергоефективності об'єкті на прикладі Дашавського підземного сховища газу за період 2021 року. При аналізі енергоефективності використання природного газу були використані показники характеристика яких наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика показників енергоефективності Дашавське підземне сховище газу за 2021 р.

Назва показника	Показник роботи		Витрати ПЕР				Питома витрата ПЕР	
	Одиниця вимірюв.	Показник	Одиниця вимірюва.	Показник			Одиниця вимірювання	Показник
				Газ	Електро	кг.у.п		
Питома витрати ПЕР об'єкту на одиницю обсягу закачки; Питома витрати ПЕР об'єкту на одиницю обсягу відбіру:	млн.м ³	723,043	м ³	193518	210814	254092,622	м ³ /млн.м ³ кг.у.п/млн.м ³	267,644 351,421
	млн.м ³	1416,070	м ³	10534320	522451	12430048,250	м ³ /млн.м ³ кг.у.п/млн.м ³	7439,124 8777,849
Питома витрата ПЕР ДКС	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10340904	648618	12218524,038	кг.у.п/кВт·год	0,631
Питома витрата ПЕР ГЗП	млн.м ³	1455,100	м ³ (кВт·год)	386934	84647	464616,821	кг.у.п/ млн.м ³	319,302
Питома витрата ПЕР КЦ	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10340904	648618	12218524,038	кг.у.п/кВт·год	0,631
Питома витрата ПГ КЦ	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10040611	-	11786242,941	кг.у.п/кВт·год	0,609
Питома витрата газу на ТВ КЦ	кВт·год	19353000	м ³	300810	-	353107,967	м ³ /кВт·год	0,155
Питома витрата газу на ТВТ КЦ	кВт·год	19353000	м ³	62486	-	73349,637	м ³ /кВт·год	0,0038
Еквівалентна товаротransпортна робота ПСГ	млн.м ³ ·км	17455,388						113112,205

У процесі експлуатації газоперекачуючого агрегату відбувається істотна зміна функціонально-технічних характеристик. Визначення фактичних показників енергоефективності здійснюється на підставі порівняння отриманих результатів теплотехнічних та екологічних випробувань з значеннями за ТУ. Метою контролю теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачуючих агрегатів є забезпечення надійності і ефективності роботи газоперекачуючих агрегатів в умовах експлуатації.

Завданнями контролю теплотехнічних та екологічних характеристик агрегатів є:

- визначення дійсних (фактичних) характеристик газоперекачувальних агрегатів;
- визначення технічного стану і відповідності теплотехнічних та екологічних показників ГПА нормованим значенням і вимогам;
- виявлення агрегатів, які експлуатуються на неоптимальних режимах;
- виявлення ГПА, з підвищеними викидами забруднюючих речовин у довкілля у наслідок незадовільного технічного стану;
- накопичення інформації щодо теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачуючих агрегатів та їх змінювання у процесі експлуатації, своєчасне прийняття заходів з їх відновлення для забезпечення економії енергоресурсів;
- підвищення надійності і безпечності експлуатації КС.

Показники газоперекачуючих агрегатів, визначені для станційних умов (при фактичних опорах всмоктувального та вихлопного трактів) та стандартних умов атмосферного повітря ($P_a = 101,32$ кПа, $T_a = 288$ К). Результати розрахунку показників енергоефективності та технічного стану газоперекачуючих агрегатів представлені у таблиці 3. Аналіз результатів вимірювань та розрахунків (згідно проведених комплексних обстежень) показує, що фактичні показники агрегатів за потужністю та у ст.№ 5 ККД нижчі за їх паспортні (номінальні 30,0) значення. Обмеження завантаження ГТУ за потужністю пов'язане з обмеженням роботи на частковому режимі ($\eta_{\text{пол}}$ в межах 0,78-0,82 при номінальному значенні 0,83).

Таблиця 3

Результати опрацювання показників енергоефективності та технічного стану ГПА-Ц-6,3 за даними комплексних обстежень

Показник	Розмірність	Ст.№3	Ст.№4	Ст.№5		Ст.№6
		19.02.2014	19.02.2014	04.02.2015	09.12.2015	11.08.2020
1 Ефективний ККД ГТУ, η_e	-	30,3	30,6	29,4	29,2	30,0
2 Політропний ККД нагнітача, $\eta_{\text{пол}}$	-	0,79	0,82	0,78	0,81	0,803
3 Коефіцієнт технічного стану ГТУ за потужністю $K_{\text{не}}$	-	0,981	0,885	0,98	0,93	1,009
4 Коефіцієнт технічного стану ГТУ щодо паливного газу, $k_{\text{тг}}$	-	1,006	1,018	1,007	1,014	1,001
5 Коефіцієнт технічного стану ЦПН, $k_{\text{цп}}$	-	0,991	0,978	0,984	0,962	0,712
6 Фактична індивідуальна норма витрати паливного газу $q_{\text{пт}}$	кг у.п/кВт·год	0,534	0,535	0,539	0,549	0,511

Ефективний ККД ГТУ агрегатів типу ГПА-Ц-6,3 знаходиться в межах 29,2- 30,6. Коефіцієнти технічного стану ГТУ щодо паливного газу знаходиться в межах 0,001-1,018. Індивідуальна норма витрати паливного газу перевищує паспортний показник (0,494), що суперечить значенням ККД. В 04.02.2015 на 2%, в 09.12.2021 на 3%, що в межах похибки розрахунків. В той же час показник коефіцієнта технічного стану за паливним газом теж знаходиться в межах дозволеного (1,05). Аналіз показників комплексних обстежень показує, що відношення фактичної індивідуальної (початкової) норми витрати паливного газу до нормативного значення розраховано некоректно. Виходячи з аналізу техніко-економічні показники ГПА типу ГПА-Ц-6,3А в процесі експлуатації агрегату потрібно проводити:

- перевірку точності показів штатної системи контролю. Під час проведення регламентних робіт при виявленні відхилень від нормальної роботи приладів виконати їх калібрування, у разі несправностей провести заміну;
- відповідності параметрів роботи ГПА у частковому режимі характеристикам які закладені в агрегатної системи автоматики;
- періодично контролювати перепад тиску (втрати тиску) на вході та виході ГПА та КЦ;
- підвищити якість проведення розрахунків техніко-економічних показників
- при вводі до експлуатації ГТУ після капітального ремонту виконувати комплексне обстеження в присутності ремонтної організації для підтвердження теплотехнічних характеристик відремонтованого двигуна, або вимагати заповнений експлуатаційний формуляр з підтвердженням фактичних характеристик. Аналіз показників локальної системної енергоефективності КЦ у оцінці можливості оптимізації використання більш економічних ГПА проводилось за результатами останніх даних комплексних обстежень. Оцінку ефективності використання паливного газу було проведено за допомогою наданих

параметрів роботи газоперекачуючих агрегатів на фактичному режимі з подальшим порівнянням фактичної витрати паливного газу з нормативною величиною.

За даними вимірів на фактичному режимі здійснено розрахунок нормативної витрати паливного газу компресорної станції. Розрахунок питомої витрати паливного газу КЦ представлено у таблицях 3.1 та 3.2. У таблиці 3.1 наведено основні вихідні параметри, необхідні для визначення показників енергоефективності компресорної станції. У таблиці 3.2 наведено розрахункові показники енергоефективності станції. В результаті розрахунків, представлених у таблиці 3.2, отримано фактичну питому витрату паливного газу за відповідний період часу роботи цеху та нормативне значення цього показника. Відхилення фактичної питомої витрати паливного газу компресорної станції від норми становило +1,2% що в межах похибки виміру вхідних параметрів. Знак "+" означає перевитрату паливного газу. У разі перевищення фактичної питомої витрати паливного газу над нормативним більш ніж на 5% необхідно проводити подальші випробування та аналіз ефективності роботи газоперекачуючих агрегатів. Перевитрати паливного газу немає, це пов'язано в першу чергу з номінальним завантаженням ГПА. Коефіцієнт завантаження коливається від 75,2% до 100%. В даному випадку коливання питомої норми витрати паливного газу залежить від значення ступеню стиску природного газу компресорної станції та коефіцієнту завантаження, тобто від режимних факторів. Потенціал енергозбереження на КС за рахунок оптимізації роботи ГПА відсутній. Для аналізу енергоефективності в першу чергу необхідно проводити наступні роботи та дослідження:

- величина початкової норми витрати паливного газу залежить від багатьох факторів, які суттєво впливають на коректність розрахунку, тому необхідно підвищити точності показів штатної системи контролю параметрів роботи обладнання цеху;
- визначити показники втрат тиску на вході та виході цеху, та по технологічних системах;
- розширити перелік показників виміру теплотехнічних параметрів при теплотехнічних випробувань.

Таблиця 3.1.

Вихідні данні для розрахунку нормативних значень витрат паливного газу Дашавське ПСГ

Компресор на станція	Тип ГПА	P _{вх} атм	P _{вих} атм	T _в °C	T _{ви} °C	T _{ат} °C	P _{ат} м	Q _{гр} млн.м ³	Q _{ре} млн.м ³	Q _{н.г} Ккал/м ³	Сер. оберт и	Сх. вкл .	Станцій ні номери плац. ГПА Т час напр.	ΣT _{ро} б год	Q _{ф.п.г} тис.м ³
<i>Січень 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	29,4 1	41,8	10	58	-1	73 1	339,73 6	0	8235	7000	1	3-87, 4-158, 5-156, 6-586	987	1803,6
<i>Лютий 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	24,7 2	40,8 2	10	56	-1	73 8	269,01 6	0	8230	7000	1	1-41, 2-28, 3-305, 4-543, 5-94, 6-60	107 1	1948,68
<i>Березень 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	21,6 3	41,4 0	10	55	3	73 7	277,39 4	0	8229	7000	1	1-165, 3-581, 4-506, 5-229, 6-11	149 2	2724,82 8
<i>Квітень 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	21,0 2	36,2 2	10	54	6	73 5	82,670	0	8226	7000	1	1-75, 3-188, 5-262	525	840,781
<i>Серпень 2021</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	45,5 7	0	-	-	18	73 4	-	0	8227	7000	1	5-1, 6-2	3	2,130
<i>Вересень 2021</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	57,8 2	0	-	-	13	73 7	-	0	8210	7000	1	4-1, 5-2, 6-2	5	3,505
<i>Листопад 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	33,4	41,2 1	10	53	5	73 5	110,27 2	0	8232	7000	1	1-1, 2-2, 3-2, 5-203, 6-12	220	424,377
<i>Грудень 2021 р.</i>															
Дашава	ГПА -Ц-6,3А	25,3 7	40,4 4	10	55	-1	73 4	336,81 4	0	8232	7000	1	3-396, 4-614, 5-131	114 1	2292,66 8

Таблиця 3.2

Розрахункові данні

КС	Тип ГП А	п _р ГП А	К _з %	Степ. стис. ку	Кое. ф. стис. л.	Адиа. б. робо. та	Q _{нор.л.} г. тис.м ³	Q _{нор.} т.в ит тис.м ³	Е _{нор.т} н	Q _{нор.в} ит тис.м ³	Н _о	К _к	К _з	К _н	К _т	К _{б.} р	К _{т.с}	К _з	Н _{к.н.}	Н _в	± %
Січень 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	75, 2	1,4	0,92 5	3248	2030	19,3 4	3,31	40,3	0, 6	1,05 8	1,01	1,0 2	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,67 1	0,65 3	-2,7
Лютий 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	80, 1	1,65 2	0,93 7	3752	2224, 94	18,0	3,08	36,4	0, 6	1,03 7	1,01	1,0	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,65 7	0,61 1	-7,0
Березень 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	10 0	1,91 7	0,94 6	6050	3599, 75	18,9 9	3,25	40,3	0, 6	1,03 9	1,01 2	1,0	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,69 5	0,52 9	- 23,9
Квітень 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	85, 1	1,72 4	0,94 7	1267	762,7 3	6,37	1,09	39,0	0, 6	1,05 0	1,01 3	1,0 1	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,66 6	0,78 0	+17, 1
Листопад 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	10 0	1,23 4	0,91 5	604	363,0	6,37	1,09	39	0, 6	1,05 0	1,01 3	1,0 1	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,66 6	0,82 6	+22, 5
Грудень 2021 р.																					
Даша ва	ГП А- Ц- 6,3 А	2	91, 3	1,59 1	0,93 9	4432	2632, 61	15,4 9	2,65	40,3	0, 6	1,03 7	1,01	1,0	1,02 5	1, 0	1,00 2	1, 0	0,65 7	0,60 8	-7,5

де: Р_{вх} - тиск газу на вході в нагнітач (атм.); Р_{вих} - тиск газу на виході з нагнітача (атм.); Т_{вх} - температура на вході в нагнітач (°C); Т_{вих} - температура на виході з нагнітача (°C); Т_{атм} - температура атмосферного повітря (°C); Р_{атм} - атмосферний тиск (мм.рт.ст.); Q_{тр} - об'єм газу що перекачується КЦ (млн.м³); Q_{ре-с} - об'єм газу що рециркулюють (млн.м³); Q_{н.г} - нижча теплота згоряння газу (ккал); n_{ср} - середні оберти турбіни (об/хв.); Сх. вкл. – за яку схему працюють ГПА (1 - в одну ступень, 2- в дві ступені, 3 – в три ступені); Станційні номери прац. ГПА/Т час напр. – станційні номери працюючих ГПА та напрацювання в год., кожного окремо; ΣТроб - сумарне напрацювання ГПА КЦ год.; Q_{ф.п.г} - фактичний об'єм паливного газу КЦ (тис.м³); Н_о – початкова індивідуальна норма витрати паливного газу ГПА; К_к – коефіцієнт який враховує вплив температури атмосферного повітря на витрату паливного газу; К_н - коефіцієнт який враховує вплив час напрацювання ГПА; К_т - коефіцієнт який враховує роботу котла-утилизатора; К_{б.р} - коефіцієнт який враховує збільшення початкової норми під час роботи агрегату без регенератора; К_{т.с} - коефіцієнт який враховує фактичну теплотворну здатність паливного газу; К_з - коефіцієнт який враховує завантаження ГПА.

Аналіз показників системної енергоефективності КС полягає у оцінці можливості оптимізації розподілу навантаження (продуктивності) між КЦ на багатоцехових КС. Для цього за результатами розрахунку показників енергоефективності КЦ та коефіцієнтів технічного стану ГПА (за потужністю та ККД) визначається можливість довантаження більш економічних цехів за відповідного розвантаження менш економічних. Враховуючи той факт, що всі підземні сховища газу розглядаються як єдиний резервуар для зберігання газу, аналіз полягає у оцінці можливості оптимізації розподілу навантаження (продуктивності) між ПСГ. Показники енергоефективності КС (КЦ) Дашава наведені у таблиці 4.

Потенціал енергозбереження розраховується як різниця між фактичної витрати паливного газу та нормативним його значенням. По паливному газу цей потенціал складає 144,4 тис.м³ по КС у 2021 році. Ця величина відноситься до локальної системи енергоефективності. При наявності планового режиму закачування та відбору (передбачається наявність планового обсягу газу для закачування, тиск газу на вході і кількість працюючих ГПА) є можливість розрахувати планові показники енергоефективності локальної системи. Значення, які наведені у таблиці будуть використані при визначенні показників енергоефективності ПСГ. Проаналізувати системний показник енергоефективності неможливо тому, що на підземних сховищах природного газу не використовувалась і не використовується еквівалентна товаротранспортна робота, на якій базується розрахунок системних показників енергоефективності. Для аналізу цього показника необхідно проаналізувати як найменше режими роботи всіх КЦ ПСГ за останні п'ять років.

Таблиця 4.

Показники енергоефективності КС Дашава за 2021 р.

Назва показника	Показник роботи		Одиниця вимірюв.	Витрати ПЕР			Питома витрата ПЕР	
	Одиниця вимірюв.	Показник		Показник			Одиниця вимірювання	Показник
				Газ	Електро	кг.у.п		
Питома витрати ПЕР об'єкту на одиницю обсягу закачки;	млн.м ³	723,043	м ³	193518	210814	254092,622	м ³ /млн.м ³ кг.у.п/млн.м ³	267,644 351,421
Питома витрати ПЕР об'єкту на одиницю обсягу відбіру:	млн.м ³	1416,070	м ³	10534320	522451	12430048,250	м ³ /млн.м ³ кг.у.п/млн.м ³	7439,124 8777,849
Питома витрата ПЕР ДКС	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10340904	648618	12218524,038	кг.у.п/кВт·год	0,631
Питома витрата ПЕР ГЗП	млн.м ³	1455,100	м ³ (кВт·год)	386934	84647	464616,821	кг.у.п/ млн.м ³	319,302
Питома витрата ПЕР КЦ	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10340904	648618	12218524,038	кг.у.п/кВт·год	0,631
Питома витрата ПГ КЦ	кВт·год	19353000	м ³ (кВт·год)	10040611	-	11786242,941	кг.у.п/кВт·год	0,609
Питома витрата газу на ТВ КЦ	кВт·год	19353000	м ³	300810	-	353107,967	м ³ /кВт·год	0,155
Питома витрата газу на ТВГ КЦ	кВт·год	19353000	м ³	62486	-	73349,637	м ³ /кВт·год	0,0038
Еквівалентна товаротранспортна робота ПСГ	млн.м ³ ·км	17455,388						113112,205

Розрахунок показників енергоефективності, які можливо використовувати для аналізу системних показників енергоефективності за 2021 рік наведений у таблиці 5.

Таблиця 5

Розрахунок показників енергоефективності Дашавського ПСГ за 2021 рік

Найменування показника	Розмірність	Тривалість															
		січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	рік			
$P_{1кв}$	кгс/см ²	36,029,41	32,1	27,1	25,9	35,9	37,7	43,2	44,5	42,5	38,7	36,8	32,7	-			
$P_{2кв}$	кгс/см ²	41,8	42,3	40,0	35,9	-	-	-	-	-	-	41,21	40,44	-			
$T_{кц}$	°К	283	283	283	283	-	-	-	-	-	-	283	283	-			
$Q_{отд}$	ккал	8196	8182	8182	8226	8274	8283	8212	8185	8218	8267	8192	8190	8217			
$Q_{отт}$	млн.м ³	2148,2 1808,4	1808, 4 1539, 4	1539,4 1262,0	1262,0 1179,3	1179,3 1272,4	1179,3 1272,4	1272,4 1380,2	1272,4 1380,2	1380,2 1571,3	1380,2 1718,7	1571,3 1718,7	1718,7 1896,7	1896,7 1902,2	1902,2 1791,9	1791,9 1455,1	1455,10
$Q_{отд(отт)}$	млн.м ³	-	-	-	-	93,137	107,777	191,081	147,407	178,023	5,618	-	-	-	-	723,043	
$Q_{отд}$	млн.м ³	339,736	269,0 16	277,39 4	82,670	0,0150 00	0,0340 0	0,004	0,009	0,003	0,103	110,27 2	336,814	1416,07			
$Q_{отт(отд)}$	млн.м ³	1,877930	2,036 377	2,8296 72	0,9081 41	0,0256 00	0,0271 78	0,0225 52	0,0371 22	0,0367 02	0,0443 64	0,4854 36	2,39676 4	10,7278			
$Q_{отд(отт)}$	млн.м ³	1,835790	1,995 336	2,7854 11	0,8628 67	0,0034 99	0,0049 14	0,0009 91	0,0147 73	0,0147 96	0,0176 88	0,4549 33	2,35042 3	10,3409			
$Q_{отт(отд)}$	млн.м ³	0,042140	0,041 041	0,0442 61	0,0452 74	0,0221 01	0,0222 64	0,0215 61	0,0223 49	0,0219 06	0,0266 76	0,0305 03	0,04634 1	0,38693			
$w_{отд(отт)}$	тис.кВт·год			303,992			101,714			67,299			175,613	648,618			
$\Delta P_{1кв}$	кгс/см ²	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-			
$\Delta P_{2кв}$	кгс/см ²	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-			
$v_{кв}$	б.р.	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-			
$Z_{кц}$	б.р.	0,925	0,937	0,946	0,947	-	-	-	-	-	-	0,915	0,939	-			
c	б.р.	3,912·10 ⁻²	3,912 ·10 ⁻²	3,912·1 0 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²	3,912· 10 ⁻²		
c_l	б.р.	10,138	10,13 8	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138	10,138			
$A_{отд}$	млн м ³ ·км	108912,709	-	-	-	4695,804	13970,23 2	14003,53 2	11424,11 5	12579,19 4	329,157	-	-	108912,709 57002,034 165914,743			
$A_{отт(отд)}$	млн м ³ ·км	62,920	80,25 9	78,736	23,084	1,321	1,510	1,743	2,875	2,593	2,599	25,717	100,258	383,615			
$A_{отд(отт)}$	млн м ³ ·км	61,495	78,60 5	77,464	21,896	0,092	0,273	0,169	1,144	1,045	1,036	24,101	98,320	365,640			
$A_{отт(отд)}$	млн м ³ ·км	1,425	1,654	1,272	1,188	1,229	1,237	1,574	1,731	1,548	1,563	1,616	1,938	17,975			
$A_{отд}$	млн м ³ ·км	11495,569	10843 ,938	7969,5 63	2169,4 33	0,756	1,890	0,292	0,697	0,212	5,457	5841,9 76	14089,1 40	52418,92 3			
$A_{отт(отд)}$	млн м ³ ·км													113112,2 05			
$b_{отд(отт)ETTP}$	кг у.л./млн.м ³ . км													108,021			
$q_{отд(отт)ETTP}$	м ³ /млн.м ³ . км													92,237			
$w_{отд(отт)ETTP}$	кВт·год/ млн.м ³ ·км													5,734			
$b_{отд(отт)ETTP}$	кг у.л./млн.м ³ . км													108,021			

Результати та обговорення

Потенціал енергозбереження - максимальні втрати газу, теплової та електричної енергії на рівні обладнання, технологічного циклу, об'єкту, ПСГ, які можна повністю або частково повернути до енерготехнологічного циклу за допомогою відповідних енергозберігаючих заходів. Потенціал енергозбереження реалізується через конкретні енергозберігаючі заходи Тому будь-яке чисельне значення потенціалу:

- не є абсолютним критерієм для вживання кардинальних заходів;
- визначається на початковому етапі з метою вибору напрямів подальшого обстеження, перспективних, у сенсі подальшої розробки енергозберігаючих заходів.

Результати порівняння ефективності заходів для підвищення економічності енергоресурсів є основою для порівняльного аналізу різних технічних прийомів обчислення потенціалу енергозбереження. Енергозберігаючі заходи класифікуються за різними ознаками: видом ресурсу, належністю до конкретних енерготехнологічних систем, очікуваної економічності ПЕР тощо. Доцільно розділити рекомендовані до впровадження заходи на:

- організаційні та маловитратні, що передбачають підвищення культури виробництва, наведення належного порядку в енергогосподарстві, суворе дотримання номінальних режимів експлуатації, забезпечення оптимального рівня завантаження агрегатів, своєчасне виконання налагоджувальних та ремонтно-відновлювальних робіт;

- та інвестиційні (витратні), пов'язані із заміщенням морально застарілих виробничих потужностей, впровадженням сучасної енергоефективної техніки, модернізацією циклів та технологій.

Розглянуті заходи, які приводять до економії енергоресурсів, і заходи, які приводять до запобігання їх перевитрат. Заходи, від впровадження яких значно збільшується ККД енергетичного обладнання, дають реальну економію природного газу або електроенергії. Заходи, від впровадження яких відновлюються техніко-економічні характеристики енергетичного обладнання до рівня паспортних або нормованих значень (звичайно під час виконання всіх видів капітальних і аварійних ремонтів) – є заходами з запобігання перевитрат газу або електроенергії і їх реальної економії не дають.

Заходи, які дають економію від їх впровадження, розрізняються на технічні (реконструкція, модернізація обладнання або технологічного процесу, тощо) і оптимізаційні (наприклад забезпечення роботи нагнітача в зоні максимально можливих значень політропного ККД).

Розрізняються заходи, впровадження яких забезпечує економію природного газу на технологічному об'єкті, що використовує енергію, і заходи, впровадження яких на даному об'єкті забезпечує економію енергоресурсу на інших об'єктах. Основна проблема щодо потенціалу енергозбереження полягає у виборі базового значення, деякого показника максимальної ефективності, з яким проводиться порівняння фактичного показника витрати природного газу.

Основними показниками енергоефективності які використовуються для оцінки потенціалу енергоефективності є локальні показники енергоефективності. Наведені дані потенціалу енергозбереження локальної системи енергоефективності розраховані на роботу стиснення.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В роботі досліджено можливості створення моделі параметрів енергоефективності. Продемонстровано розрахунок потенціалу та показників енергоефективності для конкретного типу газоперекачуючого обладнання вихідні та розрахункові дані для визначення нормативних значень витрати паливного газу на роботу газоперекачувального агрегату, для визначення проценту перевитрат паливного газу. Проаналізовано рівень удосконалення планування енергозбереження при плануванні витрат природного газу. Розглянуто параметри, що впливають на ефективність роботи газоперекачуючого обладнання. В результаті формування процесного підходу до показників енергоефективності визначено перелік факторів, що впливають на показники енергетичної ефективності, проведено оцінку та аналіз причин виникнення перевитрат природного азу та сформовано розподіл заходів для розрахунку їх економічної складової з алгоритмом дії по їх реалізації. Даний підхід дає можливість вибору найкращих заходів з енергоефективності для формування програми з енергозбереження.

Подяки

Дана стаття підготована завдяки грантовій підтримці Національного Фонду Досліджень України, реєстраційний номер проекту 2022.01/0009 «Оцінювання та прогнозування загроз відбудові та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

References

1. Denysiuk S. P., Kotsar O. V., Chernetska Yu. V. Energy efficiency of Ukraine. The best project ideas. S. P. Project Professionalization and stabilization of energy management in Ukraine. 2016. С. 33–34.

2. Mazur I. Energy intensity of Ukraine's gross domestic product: prerequisites for its decline. Bulletin of TNEU No. 1. 2012 pp. 64-72.
3. Regional Indicators: European Union (EU). URL: <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/euro.html> (дата звернення 05.03.2019).
4. Karpash M. O., Karpash O. M., Vashchyshak I. R., Dotsenko E. R., Myndyuk V. D., Rybitsky I. V., Yavorskyi A. V. Technical diagnostics of equipment and structures: training. manual. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2020. 413 p.
5. Poltavets M. M. Energy strategy as the main factor of energy saving at the enterprise. Scientific works of KNTU. Economic sciences. Kirovohrad KNTU 2009. Issue 15. P. 370-373.
6. Klimchuk O. V. Formation of energy-saving policy: world experience and prospects for implementation in Ukraine. Balanced nature management. 2014. No. 4. P. 49-54.
7. Rudkin A. Handbook of the employee of the gas transportation enterprise. Sprout. National shareholder computer "Naftogaz of Ukraine", DK "Ukrtransgaz", 2011. 1090 p.
8. Doroshenko Ya.V. Investigation of dispersed contaminates influence on the hydraulic energy consumption of elements of gas pipeline systems with complex geometry. Topical scientific researcher into resource-saving technologies of mineral mining and processing : Multi-authored monograph / Doroshenko Ya.V., Karpash O.M., Rybitskyi I.V. ; Sofia: Publishing House "St. Ivan Rilski". 2020. P. 182–207.
9. DBN V.2.6-31:2016. Thermal insulation of buildings.
10. Field testing of remote sensor gas leak detection systems. Final report. Rocky Mountain oilfield testing center. Project № 18.10485. U.S. Department of Energy. National Energy Technology Laboratory (NETL), 2004. URL: http://www.netl.doe.gov/technologies/oil-gas/publications/td/Final%20Report_RMO TC.pdf
11. Joseph Milton, Jordan Cheer, Steve Daley. Active structural acoustic control using an experimentally identified radiation resistance matrix. The Journal of the Acoustical Society of America. 147(3): (2020) 1459-1468 DOI:10.1121/10.0000858
12. Cheer J and Daley S., Active structural acoustic control using the remote sensor method, J.Phys.:Conf.Ser.744(1),012184 (2016).
13. Indicators of emissions (specific emissions) of pollutants from the main and auxiliary equipment of the gas transportation network of Ukraine Kyiv - 2004, p.5,6,8.
14. DSTU ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) Environmental management system. Requirements and instructions for use. Official publication Kyiv, SE "UkrNDNC" 2016.
15. DSTU ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Energy management systems. Requirements and guidelines for use. Official publication. Ministry of Economic Development of Ukraine, 2020, Olexandr Yemelyanov I, Anastasiya Symak I, Tetyana Petrushka I, Criteria, Indicators, and Factors of the Sustainable Energy-Saving Economic Development: The Case of Natural Gas Consumption. Energies 2021, 14, 5999. <https://doi.org/10.3390/en14185999>
16. Lesynskyi, V.; Yemelyanov, O.; Zarytska, O.; Symak, A.; Koleshchuk, O. Substantiation of projects that account for risk in the resource-saving technological changes at enterprises. East. Eur. J. Enterp. Technol. 2018, 6, 6–16, doi:10.15587/17294061.2018.149942.
17. Ponomarenko, T.; Nevskaya, M.; Jonek-Kowalska, I. Mineral Resource Depletion Assessment: Alternatives, Problems, Results. Sustainability 2021, 13, 862, doi:10.3390/su13020862.
18. Álvarez Jaramillo, J.; Zartha Sossa, J.W.; Orozco Mendoza, G.L. Barriers to sustainability for small and medium enterprises in the framework of sustainable development literature review. Bus. Strat. Environ. 2019, 28, 512–524, doi:10.1002/bse.2261.