

**Лобов В.Й.**

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

**Куменко С.О.**

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## ГАЗОПОВІТРЯНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА

*Створено газоповітряну енергетичну установку, яка дозволяє отримувати електроенергію від кінетичної енергії газоповітряного потоку, що видувається робочим механізмом. За допомогою лабораторної установки показано реальну можливість перетворювати газоповітряний потік енергії в електричну, накопичувати її та використовувати для споживання.*

**Ключові слова:** енергоефективність, автоматизація, робочий механізм, альтернативна енергія, газоповітряна енергетична установка.

**Постановка проблеми.** В умовах постійного зростання дефіциту та постійного підняття вартості на електроенергію використання альтернативних видів енергії є одним із напрямків забезпечення екологічної та енергетичної безпеки. В останні роки у світі спостерігається стійке зацікавлення проблемами використання альтернативних видів енергії, в тому числі електричної. Енергетика знаходиться на важливому місці у використанні на підприємствах. Від неї в рішучій мірі залежать економічні показники підприємства: приводить до зниження собівартості продукції, що виробляється на підприємстві.

Очевидно, що темпи використання енергії в майбутньому не зупиняться, а навіть збільшуються. А ціни на електроенергію постійно зростають. У зв'язку із цим багато фахівців вважають не вигідність використання «старих» енергетичних систем. Зараз особливо важливим є питання створення на підприємствах нових джерел енергії. Одним із варіантів економії електроенергії є використання кінетичної енергії відпрацьованих, вивільнених або видуваних газоповітряних потоків технологічного тракту промислових механізмів. Ці потоки перетворюються в електричну енергію за допомогою газоповітряної енергетичної установки (ГПЕУ), яка дозволяє її накопичувати і подальше використовувати електричну енергію підприємством у власних потребах. До таких робочих механізмів відносяться вентилятори, димососи, повітродувки та інші, які входять до складу систем кондиціонування, вентиляції тощо. Принцип роботи ГПЕУ полягає в наступному: повітряний потік вентилятора подається на лопаті

гвинта, який механічно пов'язаний з генератором, що, обертаючись, виробляє електричну енергію у вигляді постійного або змінного струму.

Сучасні ГПЕУ, як показують результати дослідження, потребують удосконалення відповідно з науковими і практичними задачами та обґрунтування необхідності реалізації на сучасній елементній базі з використанням силових напівпровідникових елементів, мікроконтролерів, мікросхем середньої ступені інтеграції та великих інтегральних схем. Розробка сучасних ГПЕУ відповідає енергетичній стратегії України на період до 2035 року [1; 2], тому тема статті є актуальною і має наукове і практичне значення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як показує аналіз науково-технічної і патентної літератури, кількість досліджень, присвячених використанню енергії вітру, збільшується [3; 4]. Інші дослідження спрямовані на зниження непродуктивних витрат електроенергії побутовими і виробничими споживачами [5; 6]. На підприємствах для зниження собівартості продукту на виробництві та зменшення витрат на електроенергію використовують альтернативні способи виробництва електроенергії [7; 8]. Вітроенергетичні пристрої (ВЕП) випускають не тільки в США і Данії, але і Великій Британії, Канаді, Японії і деяких інших країнах [9]. Відомі вітроенергетичні пристрої з використанням генетичних алгоритмів [10]. Як показують результати досліджень, енергії вітру змінюється протягом доби, так і впродовж місяця і сезону року [11; 12], тому вона має низку ефективність для використання у ВЕП, проте промислові механізми мають на виході

технологічного тракту стабільний достатньо ефективний газоповітряний потік, який можливо використовувати для отримання електроенергії [13; 14]. Деякі дослідження спрямовані на підвищення ефективності [15] і вдосконалення конструкцій та систем управління ВЕП [15].

**Постановка завдання.** Розробка та дослідження роботи загальнопромислової ГПЕУ, що працює від газоповітряного потоку, що вивільнюється або видувається з технологічного тракту під час роботи технологічного механізму з отриманням максимальної виробленої електричної енергії. Для досягнення мети вирішувалися такі задачі:

- визначити шляхи досягнення максимальної енергоефективності газоповітряних потоків під час виходу з технологічного тракту і сформулювати основні технічні вимоги, що пред'являються до ГПЕУ;

- розробити ГПЕУ з контролером і перевірити її роботу, використовуючи лабораторну установку.

**Викладення матеріалу та результати досліджень.** Спосіб отримання електроенергії включає: формування потоку газоповітряного потоку за рахунок роботи вентилятора робочого механізму, який живиться напругою від електричної мережі, вплив потоку на гвинт, кінематично пов'язаний із ротором генератора, перетворення механічної енергії обертання гвинта вентилятора в електричну енергію.

Для формування газоповітряного потоку використовують технологічний тракт робочого механізму, всередині якого розміщений гвинт вентилятора. На виході технологічного тракту встановлено гвинт генератора, який здійснює вироблення електричної енергії за умови досягнення в технологічному тракті оптимального тиску потоку.

Реалізація способу отримання електроенергії виконується за допомогою ГПЕУ. Принцип роботи запропонованої ГПЕУ пояснюється кресленням, яке ілюструє запропонований спосіб. На рис. 1 зображено наступне: 1 – технологічний тракт, 2 – ГПЕУ.

Технологічний тракт 1 може мати газовий котел, шахтний або іншого типу вентилятор, димосос, котлоагрегат тощо. Через технологічний тракт 1 відсмоктуються димові гази та повітря із топок – продукти згоряння палива, або видувається по повітроводу стисле повітря, призначене для застосування в теплоенергетиці, промисловості або для протипожежних заходів, а також різних галузей народного господарства для переміщення чистого або газонасиченого повітря.

У технологічному тракті 1 використовуються: 3 – електродвигун, 4 – вентилятор і 5 – газоповітряний потік. Швидкість обертання вентилятора 4 контролюється датчиком 6, а температура нагріву електродвигуна 3 датчиком 7. Електро-

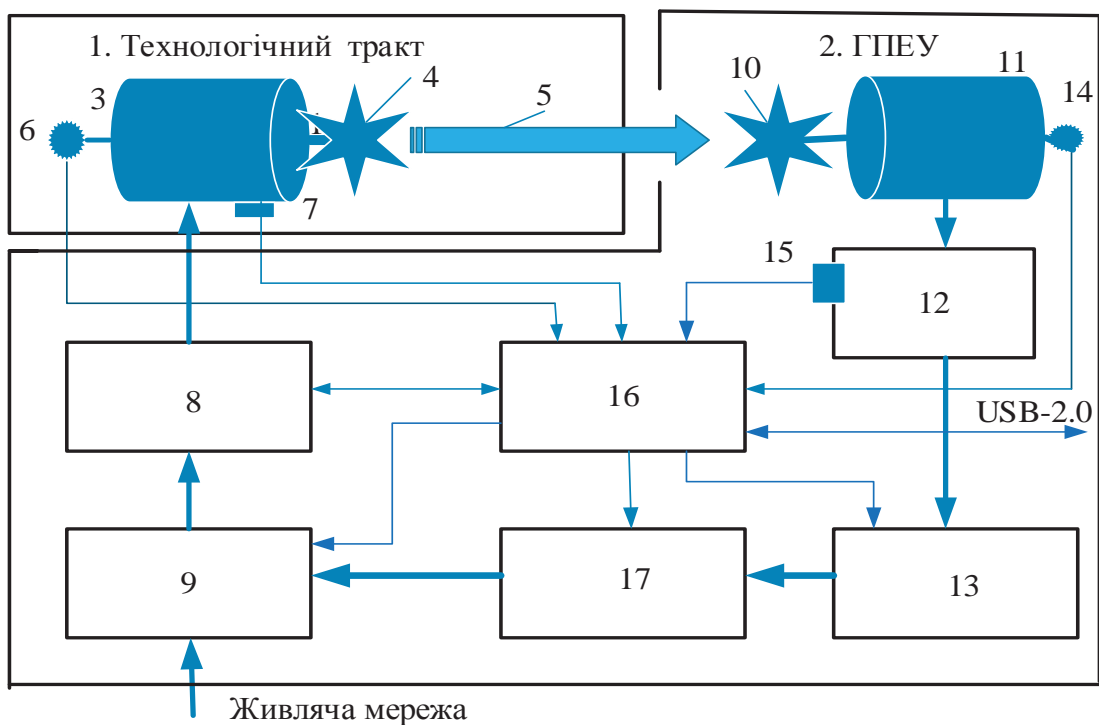


Рис. 1. Блок-схема технологічний тракт і ГПЕУ

двигуном 3 керує перетворювач частоти 8, який живиться від мережі. До складу ГПЕУ входять гвинт 10 із пристроєм для зміни кута атаки лопатей, що сам встановлюється під дією газоповітряного потоку. Гвинт 10 кінематичне з'єднаний з валом ротора генератора 11. Під дією кінетичної енергії обертається ротор генератора 11, на виході якого з'являється електроенергія. Отримана електроенергія генератора заряджає акумулятор 12, постійна напруга якого за допомогою інвертора 13 перетворюється на змінну з частотою живлячої мережі. Швидкість обертання гвинта 10 генератора 11 контролюється датчиком 14, а величина напруги на виводах акумулятора 12 датчиком 15. На контролер 16 подається інформація з датчиків: швидкості обертання 6 вентилятора 4, температури 7 нагріву електродвигуна 3 і швидкості 14 обертання гвинта 10 і контролю напруги 15 на акумуляторі 12, а також інформація з перетворювача частоти 8. Змінна напруга з виходу інвертора 13 через перший комутатор 17 повертається у живлячу мережу, використовуючи другий комутатор 9 при наявності на його вході управляючого сигналу від контролера 16.

Інформацію від датчиків 3 і 4 дозволяє контролеру 16 формувати сигнали управління для перетворювача частоти 8 для забезпечення:

1) пуску та регулювання швидкості в широких межах роботи електродвигуна 3 вентилятора 4 технологічного тракту 1;

2) ненаголошеного пуску електродвигуна 3 вентилятора 4 для зменшення зносу механічних частин механізмів технологічного тракту 1;

3) номінального моменту електродвигуна 3 вентилятора 4 вже при низьких швидкостях;

4) управління комутатором 16.

Комутатори 9 і 17 можуть бути виконаними на релейно-контактних або безконтактних елементах, наприклад на тиристорних ключах. Кожний із них призначений для безпосередньої подачі напруги із живлячої мережі на перетворювач частоти 8 і повернення, виробленої генератором 11, накопиченої в акумуляторі 12 і перетвореної в змінну напругу інвертором 13 у живлячу мережу. Гвинт 10 генератора 11 має пристрій для зміни кута атаки лопатей, що самі встановлюються, побудований на основі використання до напрямку потоку середовища, що набігає. Під кутом атаки лопатей гвинта 10 маємо на увазі кут між напрямком швидкості набігаючого на лопатку газоповітряного потоку і характерним поздовжнім напрямком, обраним на тілі лопатки. Лопать (крило) змінює кут атаки під дією напрямку набігаючого потоку

середовища. Воно встановлене на рухомій конструкції з можливістю обертання навколо власної осі, що містить пристрій зміни кута атаки крила шляхом повороту його осі за допомогою впливу на нього через кінематичний зв'язок закрилка. Такий закрилок встановлений на задній кромці крила з можливістю повороту, відмінне тим, що пристрій зміни кута атаки являє собою вісь, один кінець якої розташований всередині закрилка між двома пластинами і загнутий під кутом 120-135° із можливістю переміщення між даними пластинами. Вісь виконана такою, що обертається, а її другий кінець розташований всередині крила і кінематичне пов'язаний із рухомою конструкцією з можливістю напружено-пружного поворотного повороту при перевищенні робочого моменту обертання осі.

Генератор 11 -1) запускається робочий механізм, наприклад, газовий котел;

2) згорає пальне, нагрівається вода та з'являються залишки пального, що не згоріло, повітря, чадний газ, водень, сажа, тощо видаляються з камери згорання через технологічний тракт 1;

3) включається вентилятор 3, що встановлений у технологічному тракту 1 і залишки пального, що не згоріло, повітря, чадний газ, водень, сажа, тощо направляються в технологічний тракт 1 для видалення газоповітряного потоку;

4) сформований потік попадає на лопатки, які обертаються і приводить у дію гвинт 10 генератора 11, в якому пристрій автоматично встановлює кут атаки лопатей, на основі використання до напрямку потоку середовища, що набігає.

5) обертаючись гвинт 10 одночасно обертає ротор генератора 11;

6) генератор 11 виробляє електроенергію, наприклад, постійного струму;

7) отримана електроенергія заряджає акумулятор 12 до номінального значення, величина якої контролюється датчиком напруги 15;

8) швидкість вентилятора 4 і обертання гвинта 10 генератора 11 контролюють відповідно датчики 6 і 14;

9) виміряні дані датчиків 6, 7, 14 і 15 зрівнюються у контролері 16 із раніше заданими параметрами та при досягненні потрібної величини постійної напруги на виводах акумулятора 12 контролер 16 подає імпульсні сигнали на комутатори 9 і 17, які включають ГПЕУ до живлячої мережі або її відключають при відхиленнях від заданих параметрів.

Перевірка працездатності розроблених алгоритмів управління ГПЕУ і програмного забез-

печення на їх основі виконано на лабораторній установці з використанням технології SCADA системи. Для реалізації цієї технології використано програмне середовище LabVIEW і розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке встановлено на ЕОМ. Як видно з рис. 1, підключення ГПЕУ до ЕОМ здійснюється за допомогою контролера 16 через порт USB 2.0, який визначається як COM-порт у середовищі LabVIEW.

У технологічному тракті 1 лабораторної установки використаний вентилятор 4 типу DeepCool GS120 з електродвигуном 3 постійного струму, що має: постійні магніти типу RK-370ca-11490, напругу живлення 24 В, струм живлення 350 мА і швидкість обертання валу 4000 об/хв. Повітряний потік 5 нагнітається вентилятором 4 у технологічний тракт 1 діаметром 110 мм. Гвинт 10 генератора 11 встановлений на виході технологічного тракту 1 у полі дії найбільшого повітряного потоку 5, який видувається вентилятором 4. Вироблення електричної енергії виконується генератором 11 постійного струму з постійними магнітами типу RS-545ph із робочим діапазоном від 32 до 42 В, струмом 0,04 А і швидкістю 3940 рад/ хв.

У процесі роботи вентилятора 4 зарядження акумулятора 12 від генератора 11 виконується до рівня напруги, яка визначається датчиком 15. Контролер 16 керує роботою комутаторів 9 і 17, які реалізовані на MOSFET транзисторах типу FQP50N06. Навантаженням на акумулятор 12, при достатньому рівні напруги на його виводах, є інвертор 13, який перетворює постійну напругу в змінну з частотою живлячої мережі. Отримана змінна напруга інвертора 13 через комутатори 9 і 17 повертається у живлячу мережу.

Працездатність ГПЕУ підтверджується експериментальними осцилограмами, отриманих за допомогою SCADA системи. Отримані осцилограми наведені на рис. 2. На них надано напруги на генераторі 11 і акумуляторі 12, швидкість ротора вентилятора 3 і гвинта 10 генератора 11, а також додатково зняті параметри напруги і струму електродвигуна 3. Осцилограми отримані в реальному часі в діапазоні від 160 до 2240 с.

**Висновки.** Використання енергії відпрацьованих робочим механізмом вентиляційних газоповітряних потоків із перетворенням цих потоків у електроенергію є реальна можливість генерувати

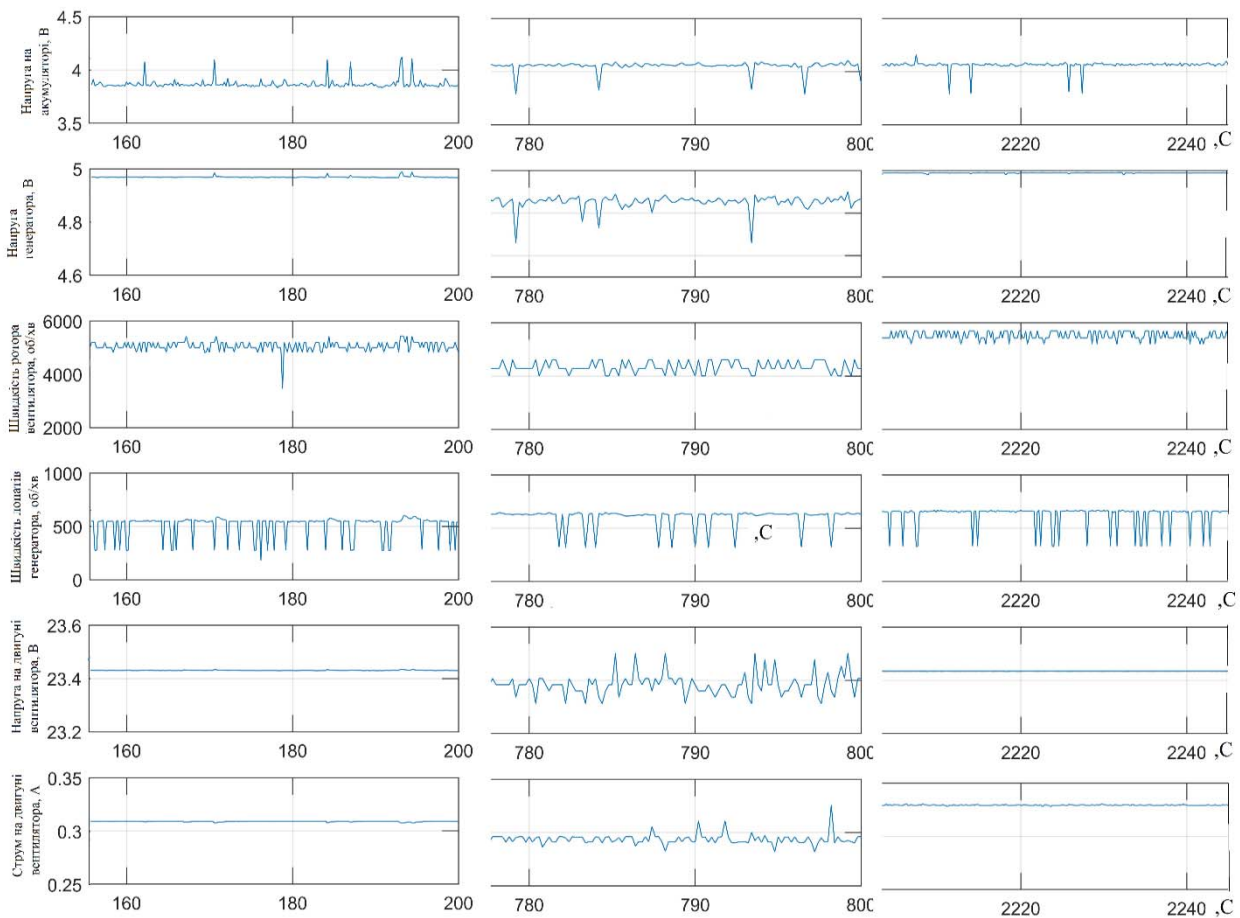


Рис. 2. Осцилограми роботи ГПЕУ

і використовувати додаткову електричну енергію для власних потреб підприємства. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що запропонований спосіб, який реалізований за допомогою ГПЕУ, дозволяє зменшити споживання з живлячої мережі до 20% кількості електроенергії, витраченої робочим механізмом (вентилятором) (рис. 2).

Це здійснюється за рахунок повернутої в живлячу мережу виробленої електроенергії генератором, який використав кінетичну енергію потоку відпрацьованої робочим механізмом маси газ/повітря.

Розроблений спосіб управління вихідною напругою генератора з постійними магнітами в складі ГПЕУ за рахунок постійно діючого газоповітряного потоку додатково підвищує продуктивність роботи ГПЕУ. Проте залежить від розташування гвинта генератора в полі дії газоповітряного потоку. При цьому плавне регулювання значень вихідної напруги та її частоти автоматизо-

вана система керування буде відчувати у випадку найменших змін швидкості потоків або величини навантаження.

Встановлено, що кінетична енергія постійно діючого відпрацьованого газоповітряного потоку і величина вихідної напруги прямо пропорційно залежить від швидкості обертання вентилятора, який працює на технологічний тракт. У ході досліджень, які проводилися на лабораторній установці виявили, що втрати повітряного потоку складають від 0.8 до 1.0 м/с у залежності від статичного тиску в робочій зоні. На продуктивність газоповітряної енергетичної установки також впливають конструктивні особливості лопатей гвинта генератора

Розробка і створення газоповітряної енергетичної установки дозволить здійснювати автономне живлення низки електроспоживачів, які знаходяться на підприємстві, зменшити витрати електроенергії, що дозволить підвищити ККД робочого механізму і зменшити собівартість виробленої продукції.

#### Список літератури:

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. зб. / Енергетична стратегія України як інструмент політики енергетичної безпеки. Київ, 2014. С. 89–167.
2. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Уряду від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <http://195.78.68.67/minugol/dossacatalog/document?id=245234103> (дата звернення: 09.02.2018).
3. Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения. Омск, 2012. 68 с.
4. Щур І.З. Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці. Львів, 2009. С. 272–277.
5. Климко В. Алгоритм роботи комбінованої автономно-мережевої системи електроживлення окремого об'єкта. Львів, 2013. 86 с.
6. Твайделл Д., Уэйр А., Пер С. Возобновляемые источники энергии Москва, 1990. 392 с.
7. Сінчук О.М., Бойко С.М. Автономна вітроенергетичної установки для підземних гірничих виробок залізорудних. Вінниця, 2014. 72 с.
8. Лобов В.Й., Лобова К.В., Даць А.В. Управление газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства. 2018. № 2 (2017). С. 84-95. DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-9.
9. Rodrigo, T.P., Silvio, F.R., Edwin, W., Ricardo, S., Pavol, B., Jan, P. Operation and Power Flow Control of Multi-Terminal DC Networks for Grid Integration of Offshore Wind Farms Using Genetic Algorithms. *Energies*, 6, 1–26. DOI: 10.3390/en6010001/.
10. EU Directive 2001/77/EC on the promotion of the electricity produced from renewable energy source in the internal electricity market. URL: [http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/electricity\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/electricity_en.htm). (дата звернення: 10.02.18).
11. Мацкевич П. Використання енергії вітру. ЕКОінформ. 2011. № 5. С. 36.
12. Соколовський Ю.Б., Соколовський А.Ю., Лимонов Л.Г. Повышение эффективности ветровых энергетических установок. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 9. С. 28–37.
13. Спосіб отримання електроенергії: пат. 01891 Україна: МПК (2017.01), F03B 13/00. № 119020. заявл. 27.02.17 опубл. 11.09.17, Бюл. № 17.
14. Сінчук О. М., Бойко С.М. Автономна вітроенергетичної установки для підземних гірничих виробок залізорудних шахт. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 1. С. 70.
15. Кузьо І.В., Корендій В.М. Обґрунтування розвитку вітроенергетичних установок малої та надмалої потужності. Вісник Нац. ун-ту «Львів. Політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. 2010. № 679. С. 61–67.

### ГАЗОВОЗДУШНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

*Создана газоздушная энергетическая установка, которая позволяет получать электроэнергию от кинетической энергии газоздушной потока, выдуваемой рабочим механизмом. С помощью лабораторной установки показана реальная возможность преобразования газоздушного потока в электрическую энергию, накопления ее и использования для потребления.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, автоматизация, рабочий механизм, альтернативная энергия, газоздушная энергетическая установка.

### GAS SUPPLY ENERGY INSTALLATION

*A gas-air power plant been created that allows receiving electricity from the kinetic energy of the gas-air flow blown by the working mechanism. With the help of a laboratory facility, a real opportunity is shown for converting gas-air flow into electric energy, accumulate it and use it for consumption.*

**Key words:** energy efficiency, automation, working mechanism, alternative energy, gas-air power plant.