

О.О. Попов, Київ
А.В. Яцишин, Київ
В.О. Ковач, Київ
В.О. Артемчук, Київ
О.В. Фаррахов, Київ
В.О. Куценко, Київ

РОЗРОБЛЕННЯ РОТОРНО-ПНЕВМАТИЧНОЇ ПОРШНЕВОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРУЮЧИХ КОМПЛЕКСІВ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Abstract. The prospects for the development of renewable energy in Ukraine are described and its development is crucial for the country's energy independence and fulfillment of international obligations in the energy and climate spheres. It is noted that one of the problems of efficient use of renewable energy sources is the unstable generation of electricity due to the natural features of these sources. To solve this problem, the authors propose a new type of drive based on the use of a rotary-pneumatic piston machine. This paper describes the structure and principle of operation of this machine, graphically shows its various sections, and presents the results of experiments on a test sample. The graphical dependences of the motor power on the angular speed, the torque of the motor on the angular speed and the air pressure are presented. Possibilities of using this machine for creating an efficient system of energy storage and generation are described.

Вступ

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівень життя населення. Стратегічним інтересом нашої держави є розвиток відновлюваної енергетики. Це обумовлено низкою факторів: необхідністю у найближчому майбутньому виводити з роботи старі потужності ТЕС та АЕС, які вже відпрацювали свій проектний термін служби; енергетичною безпекою держави та критичною необхідністю зменшити енергетичну залежність від імпортованих викопних палив; екологічною безпекою держави та кліматичною політикою. На сьогоднішній день частка «зелених» джерел енергії у виробництві електроенергії в Україні становить 1,8% [1 – 3].

Міжнародними зобов'язаннями України в рамках Енергетичного співтовариства та Угоди про асоціацію між Україною та ЄС передбачено стрімке зростання темпів приросту об'єктів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Такий вектор розвитку відзначено у Національного плану дій з відновлюваної енергетики, згідно якого до 2020 року відсоток виробництва електроенергії від ВДЕ має становити 11%, а згідно Енергетичної стратегії

© О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Ковач, В.О. Артемчук, О.В. Фаррахов,
В.О. Куценко

України до 2035 року – мінімум 25 %. А дослідження Інституту економіки та прогнозування НАН України показують економічну та технічну можливість переходу України на 91% ВДЕ вже до 2050 року [5, 7, 8].

Підтвердженням намірів досягнення зазначених перспектив у відновлювальній енергетиці України є нещодавні дані Національної комісії, що здійснює регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг України, про те, що у липні-вересні 2018 року в Україні введено в експлуатацію нові генеруючі об'єкти на ВДЕ загальною встановленою потужністю 160,1 МВт, що в 2,4 рази перевищує показник за аналогічний період 2017 року. Плани та практика розвитку Об'єднаної енергетичної системи України наближаються до планів та практики країн-членів Європейського Союзу, де розвиток відновлюваних джерел енергії визначено пріоритетним напрямком [9, 12, 13]. Отже, розвиток відновлюваної енергетики є визначальним для енергетичної незалежності нашої країни та виконання міжнародних зобов'язань в енергетичній та кліматичній сферах.

Однією з проблем ефективного використання ВДЕ є нестабільна генерація електроенергії внаслідок природних особливостей цих джерел. Тобто, розробка способу «вирівнювання» потужності та екологічно чистої енергетичної установки, здатної до автономної генерації є надзвичайно актуальним завданням [14 – 16].

На сьогоднішній день для вирішення зазначеної проблеми використовуються різні накопичувачі енергії: конденсаторний, копровий, гідравлічний (гравітаційний), маховик, свинцево-кислотний та інші. Основними їх недоліками є великі габарити, маса, низька питома енергоємність, висока ціна, втрати при зберіганні і перетворенні, і обмежений термін експлуатації. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нового типу накопичувача енергії, який би був позбавлений цих недоліків і дозволив підвищити ефективність використання ВДЕ для забезпечення потреб населення та об'єктів народного господарства електричною енергією.

Постановка задачі

Авторами пропонується новий тип накопичувача на основі використання роторно-пневматичної поршневої машини (РППМ). Попередні теоретичні розрахунки показали його значні переваги перед аналогами. На її основі можливе створення ефективної системи акумуляування та генерації енергії, яка дасть можливість забезпечити балансування потужності, і яка може використовуватися в ряді систем генерації, особливо в вітроенергетиці і гідроенергетиці. Вона накопичує енергію у вигляді стислого повітря і перетворює її в електричну енергію із заданою частотою і напругою. Взагалі ротаційно-поршнева машина являє собою багатопоршкову парогазовакуумну установку, яка безпосередньо перетворює орбітальний рух поршнів в обертальний рух ротора, що дозволяє приводити дану конструкцію в дію від будь-яких джерел тиску або розрядження (або від того і іншого одночасно) при їх малих величинах, що робить її універсальною для застосування в різних областях.

РППМ відрізняється малими витратами робочого тіла (пари, газу або суміші газів) є компактним механізмом з високим ККД (до 90%). Розрахунки показують, що застосування РППМ на традиційних генеруючих станціях дозволить зменшити витрати пари до 50%. Це, в свою чергу, дозволить зменшити витрати палива, викиди в атмосферу, температурний вплив на навколишнє середовище, собівартість вироблення електроенергії.

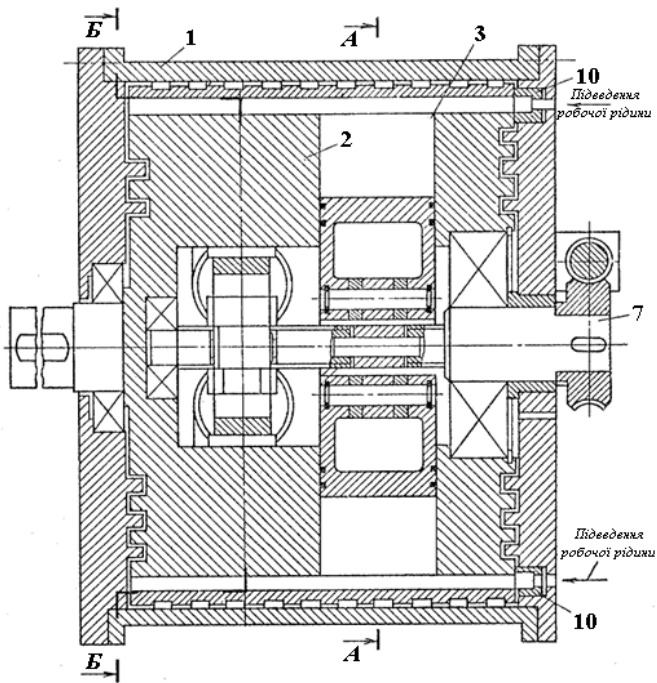
В даній статті представлено результати розробки РППМ, а саме показано її конструкцію, описано принцип дії та наведено результати виконаних експериментів.

Матеріали дослідження

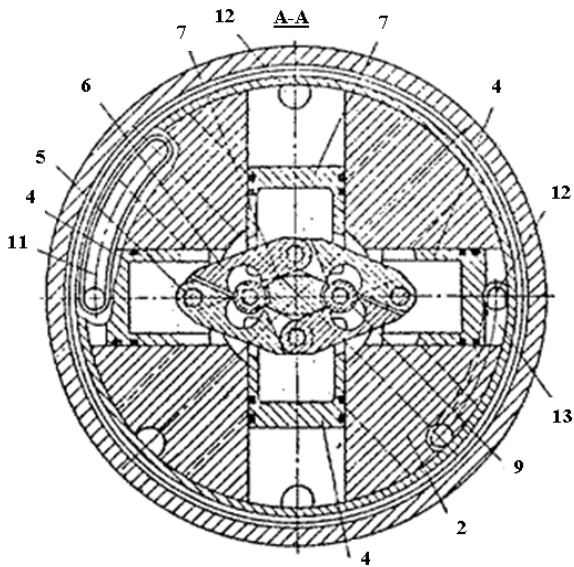
Винахід відноситься до поршневих машин і дозволяє спростити конструкцію і покращити умови експлуатації поршневої машини шляхом забезпечення можливості плавної зміни частоти обертання ротора 2 і зміни напрямку його обертання. У корпусі розміщений ротор 2 з радіальними попарно опозитними циліндрами. В циліндрах розташовані поршні 4, які пов'язані між собою за допомогою пальців 5 і жорстких ланок 6 з утворенням шарнірного чотирикутника. У корпусі співвісно ротору 2 розміщений кулачок 7 з двома діаметрально протилежними вершинами, встановлений з можливістю контакту з ланками 6. Ланки 6 утворюють бічні сторони чотирикутника. Кулачок 7 встановлений з можливістю повороту і виконаний у вигляді стержня з поперечним перетином у формі криволінійного ромбу і вершинами у вигляді двох циліндричних опорних елементів. Елементи закріплені на стержні по обидва боки великої діагоналі ромба. В середині кожної з ланок 6 виконані пази, обмежені дугою кола з радіусом, рівним радіусу роликів 9. Криві, що обмежують поперечний переріз стержня і лежать по обидві сторони малої діагоналі ромба, виконані у вигляді дуг кіл з центрами на меншій діагоналі ромба. Відстань між вершинами кулачка 7 дорівнює різниці довжин більшої і меншої діагоналей ромба, утвореного осями ланок 6 при положенні поршнів 4 в мертвих точках 2. Циліндричні опорні елементи виконані у вигляді роликів 9, що обертаються, встановлених на осях, а останні закріплені на кулачках 7 [4].

На рис. 1, *a-v* зображені різні перерізи РППМ.

Поршнева машина працює наступним чином. Робоча рідина подається через впускні сегменти 10 і по каналах 11 надходить до поршнів 4, які з зусиллям рухаються до осі ротора 2, кожен при цьому передає зусилля двом симетрично розташованим відносно кожного поршня 4 ланкам 6. При цьому ланки 6, які взаємодіють з роликами 9 кулачка 7, повертаються, впираючись округленими пазами в ролики 9 кулачка 7, який знаходиться в нерухомому стані. Внаслідок цього ротору 2 надається обертальний рух. Поршні 4 рухаються при цьому від осі ротора 2 і виштовхують відпрацьовану рідину через канали 12 і випускні сегменти 13.



a)



б)

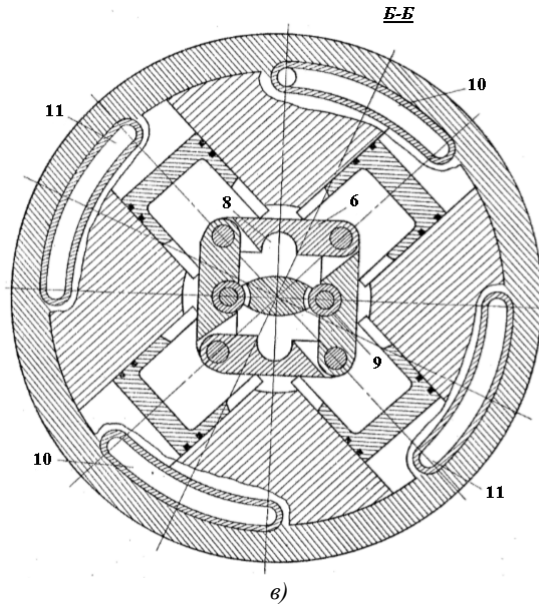


Рис. 1. Різні перерізи РППМ: а) поздовжній переріз РППМ; б) переріз А-А; в) переріз Б-Б

При повороті кулачка 7 за годинниковою стрілкою із зазначеного положення ротор 2 починає обертатися проти годинникової стрілки, і зі зростанням кута повороту кулачка 7 зростає частота обертання ротора 2. При досягненні кута 45° обороти досягають максимального значення. При подальшому збільшенні кута повороту понад 45° частота обертання починає зменшуватися і стає рівною нулю, тобто ротор зупиняється [6].

Наведемо деякі розрахунки та результати експериментів з тестовим прототипом РППМ, яка має наступні конструктивні характеристики: 12 циліндрична РППМ з діаметром поршня 52 мм, ходом поршня 22 мм, робочим тиском 12 кг/см². Експлуатаційні параметри: $n = 5500$ об/хв, $N = 99,9$ кВт або 134,5 к.с., витрата повітря 0,103 м³/хв.

Як правило, накопичувачі тиску конструкційно представляють собою сукупність балонів ємністю по 0,5 м³: $V_{запр} = 500$ л або 0,5 м³, тиск, що закачують, $P = 250$ кг/см². При заданому заправному об'ємі і тиску кількість закачаного повітря в одиничну ємність, зведеної до атмосферного тиску, згідно формули

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

складе $V = 250 \cdot 0,5 = 125$ м³. При секундній витраті повітря на повній потужності 0,1 м³ теоретично РППМ пропрацює 1250 с або 21 хв, зробивши

при цьому 115 тис об. Разом з тим, досвід експлуатації генераторів, що видають для споживача електричний струм з необхідними параметрами (380 В, 50 Гц) показує, що обороти приводу залежать від кількості полюсів і практично ніколи не перевищують 3000 об/хв, (турбіни) тобто розрахунковий час роботи РППМ складе 38 хв, за які генератор здатний виробити 30 кВт/год електроенергії. Наприклад, парова турбіна найбільш оптимально працює при 3000 об/хв, число полюсів генератора дорівнює двом, а для дизельного двигуна, що застосовується на дизельних електростанціях, оптимальний режим роботи 750 об/хв і генератор повинен мати 8 полюсів. Масивні і тихохідні гідравлічні турбіни на великих ГЕС обертаються зі швидкістю 150 об/хв, а генератор має 40 полюсів [6]. При цьому, відповідно до наведеної на рис. 4 номограмі, крутний момент при тиску 12 кг/см^2 складе 306 н.м., що є явно надмірним для такого генератора. Отже, передавальні співвідношення повинні бути підібрані таким чином, щоб підведений до ротора крутний момент відповідав моменту, що розвивається типовим для даного типу генератора приводом. Отже, типові співвідношення можна зберегти при зменшенні коефіцієнта передачі зусилля на ротор збільшивши, таким чином, відповідно час генерації [10, 11].

На рис. 2 – 4 показані результати виконаних авторами експериментів з тестовою РППМ.

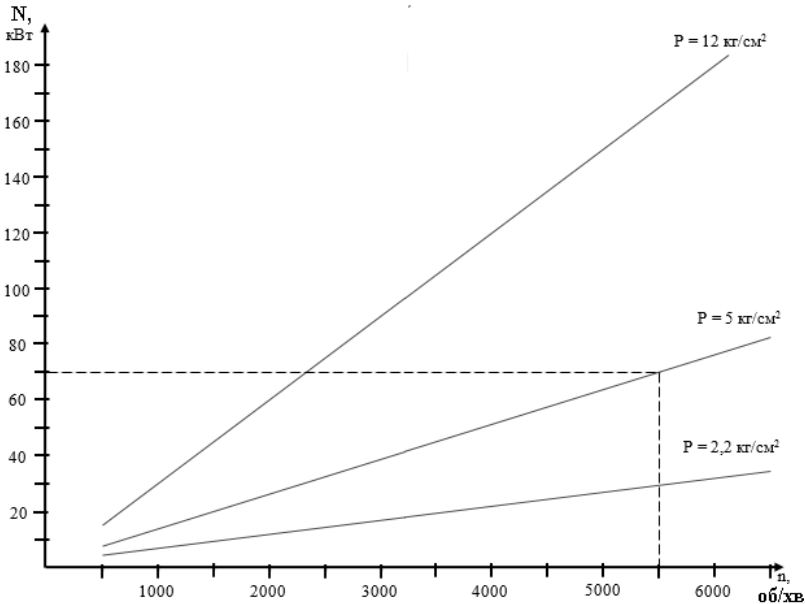


Рис. 2. Залежність потужності мотора від кутової швидкості обертання

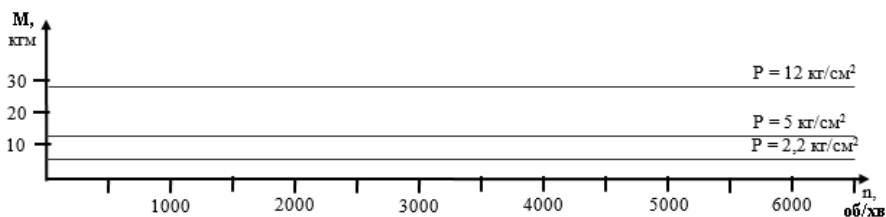


Рис. 3. Залежність крутного моменту мотора від кутової швидкості обертання

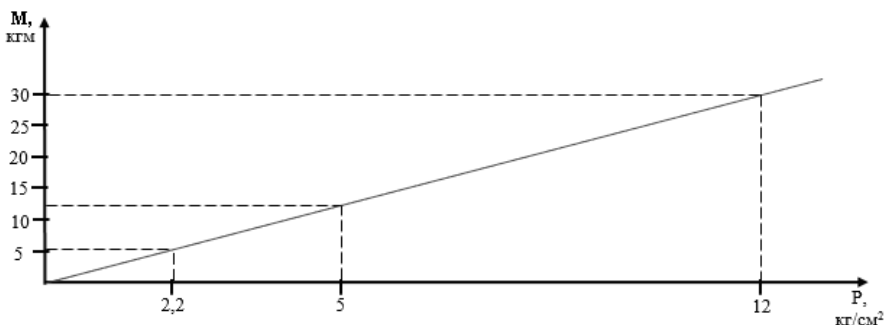


Рис. 4. Залежність крутного моменту мотора від тиску повітря

Висновки

На основі РППМ можливе створення ефективної системи акумулювання та генерації енергії, що дасть можливість забезпечити балансування потужності від об'єктів відновлювальної енергетики, що функціонують в енергетичній системі України. Також застосування РППМ на традиційних генеруючих станціях, де у якості силових приводів генераторів застосовуються турбіни, дозволить зменшити витрати пари до 50% порівняно з тими, які існують на сьогодні. Як наслідок – зменшення витрат палива, викидів в атмосферу, температурного впливу на навколишнє середовище, собівартості енергії, що виробляється генеруючими потужностями. Крім того, виробництво РППМ є менш металомістким та технологічно простішим, ніж виробництво турбін. Конструктивно РППМ дозволяє регулювати швидкість обертання ротора при зміні навантаження і тиску, що робить її універсальною в застосуванні на різних машинах і механізмах.

1. *Abouzahr I.* Loss of power supply probability of standalone wind electric conversion systems: A closed form solution approach / I. Abouzahr, R. Ramakumar // IEEE Transactions on energy conversion. – 2017. – Vol. 5, № 3. – P.445-451.
2. *Ciang C.C.* Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods / C.C. Ciang, J. Lee, H. Bang // Measurement science and technology. – 2018. – Vol. 19, № 12. – P.1-20.

3. *Flemming M.L.* New lightning qualification test procedure for large wind turbine blades / M.L. Flemming, S. Troels // International conference lightning and static electricity. – Blackpool, U.K., 2003. – P.36.1-36.10.
4. *Kovach V.* Toxic Soil Contamination and Its Mitigation in Ukraine / V. Kovach, G. Lysychenko // Soil Science Working for a Living. – Cham : Springer, 2017. – P.191–201.
5. *Petrone G.* Reliability issues in photovoltaic power processing systems / G. Petrone, G. Spagnuolo, M. Veerachary // Transactions on industrial electronics. – 2018. – Vol. 55, № 7. – P.2569-2580.
6. *Iatsyshyn A.V.* The methodology of future specialists teaching in ecology using methods and means of environmental monitoring of the atmosphere's surface layer / A.V. Iatsyshyn, O.O. Popov, V.O. Kovach, V.O. Artemchuk // Information Technologies and Learning Tools. – 2018. – Iss. 66 (4). – P.217-230.
7. *Reid Thomas R.* Renewable energy - pushing gas turbine components to their cycling limit / Thomas R. Reid // Power Engineering. – 2015. – Iss. 9, Vol. 119. – 8 p.
8. *Rosner D.* Experiencing renewable energy: design and implementation of a mobile educational laboratory / D. Rosner, M. Catuneanu, R. Tataroiu, C. Safta, M. Bucicoiu // Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest. – 2014. – Iss. 3, Vol. 76. – P.197-206.
9. *Карамов Д.Н.* Математическое моделирование автономной системы электроснабжения, использующей возобновляемые источники энергии / Д.Н. Карамов // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 9. – С.133-140.
10. *Попов О.О.* Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях / О.О. Попов, А.В. Яцишин, В.О. Артемчук // Моделювання та інформаційні технології. . 36. наук. пр. ІПМЕ ім Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 73. – К.: 2014. – С.3-16.
11. *Popov O.* Conceptual Approaches for Development of Informational and Analytical Expert System for Assessing the NPP impact on the Environment / O. Popov, A. Iatsyshyn et al. // Nuclear and Radiation Safety. – 2018. – Iss. 3(79). – P.56-65.
12. *Титко Р.* Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України) : навч. посіб. / Р. Титко, В.М.Калініченко. – Варшава, Краків, Полтава : OWG, 2010. – 530 с.
13. *Удалов С.Н.* Возобновляемые источники энергии / С.Н. Удалов. – Новосиб. : НГТУ, 2014. – 459 с.
14. *Федоренко В.Ф.* Возобновляемые источники энергии: тенденции и перспективы развития: Научный аналитический обзор / В.Ф. Федоренко, В.С. Тихонравов, Н.П. Мишууров. – М. : Росинформапротех, 2015. – 128 с.
15. *Шерязов С.К.* Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей : монография / С.К. Шерязов. – Челябинск : ЧГАУ, 2008. – 300 с.
16. *Bakirtzis A.G.* A probabilistic method for the evaluation of the reliability of stand alone wind energy systems / A.G. Bakirtzis // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2016. – Vol. 7, № 1. – P.99-107.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3612246>

Поступила 26.09.2019р.