

6. **Al Chami G.**, 2006. "Creep behavior of CFRP strengthened concrete columns and beams". *PhD Thesis* Department of Civil Engineering, University of Sherbrooke, Canada.
7. ACI440.2R-08, 2008. "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures". *ACI Committee 440*, American Concrete Institute Farmington Hills, Michigan.
8. **Kaminski M., Trapko T.** 2006. Experimental behaviour of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(2): 109–115.
9. Thériault, M., Neale, K.W. (2000). Design equations for axially loaded reinforced concrete columns strengthened with fibre reinforced polymer wraps. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2(7): 1011-1020.
10. **Kaminski M., Trapko T.** 2006. Experimental behaviour of reinforced concrete column models strengthened by CFRP materials, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(2): 109–115.
11. **Bulavs F., Radinsh I., Tirans N.** 2005. Improvement of capacity in bending by the use of FRP layers on RC beams, *Journal of Civil Engineering and Management* 11(3): 169–174.
12. **Matthys S., Toutanji H., Taerwe L.** Stress-strain behavior of large-scale circular columns confined with FRP composites. *J. Struct. Eng.* 2006, 132, 123–133.
13. **Ozbakkaloglu T.** Axial compressive behavior of square and rectangular high-strength concrete-filled FRP tubes. *J. Compos. Constr.* 2013, 17, 151–161.
14. **Wang Z., Wang D., Smith S., Lu D.** CFRP-confined square RC columns. I: Experimental investigation. *J. Compos. Constr.* 2012, 16, 150–160.
15. **Baris Erdil**, 2012. "Behavior of cfrp confined concrete specimens under temperature cycles and sustained loads". *PhD Thesis* Department of Civil Engineering, The graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university, Turkey.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 620.92:[658.26:351.824.11]

О.В. ЗАМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., А.А. КАЛІНІЧЕНКО, асистент  
Криворізький національний університет

## ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОБ'ЄКТАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ВИРОБНИЦТВА

**Мета.** Сучасна енергетика в основному базується на невідновлювальних джерелах енергії, які мають обмежені запаси. Тому вони не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який негативно впливає на навколишнє середовище. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії є одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Адже їх використання є екологічно безпечним для навколишнього середовища. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій застосування альтернативних джерел енергії, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер їх використання. Тому мета запропонованої наукової статті полягає у розробці системного підходу до обґрунтування доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання комунального господарства та виробництва.

**Методи.** У науковій роботі розглянуті такі методи: теоретичні дослідження роботи компонентів схем теплопостачання комунальних об'єктів на основі нетрадиційних джерел енергії в заданих кліматичних умовах; аналітичні методи, за допомогою яких проведено аналіз шляхів використання нетрадиційних джерел; методи математичної статистики для оброблення даних.

**Наукова новизна** наукової праці полягає в обґрунтуванні та вирішенні науково-технічної задачі підвищення оцінки доцільності застосування комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах теплопостачання об'єктів із врахуванням кліматичних умов місцевості.

**Практична значимість.** Дане наукове дослідження присвячено виявленню найбільш раціональних комбінацій методів використання альтернативних джерел, що в свою чергу дозволяє поліпшити існуючі технології, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

**Результати.** У даній науковій праці запропоновано новий системний підхід до оцінювання доцільності застосування різних комбінацій нетрадиційних джерел енергії в схемах енергопостачання комунального господарства та виробництва із врахуванням кліматичних умов місцевості.

**Ключові слова:** нетрадиційні, джерела, енергія, ефективність, комунальне господарство, відновлювальні, альтернативні, енергетика.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-148-154

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сучасна енергетика потребує кардинальних змін, адже традиційні джерела енергії є вичерпними і їх використання

забруднює навколишнє середовище. Саме тому доцільно використовувати відновлювальні джерела енергії, які є екологічно безпечними для середовища. До невідновлюваних джерел енергії будемо відносити гідроелектростанції (великі, середні та малі), геотермальну, сонячну, фотоелектричну та теплову енергію, енергії припливів, хвиль океану, вітру, тверду біомасу, гази з біомаси, рідкі біопалива та відновлювані муніципальні відходи, а також теплоенергію «створювану» завдяки тепловим насосам, торф, шахтний метан та вторинні джерела енергії, такі як: скидне тепло, муніципальні промислові відходи, тиск доменного газу та природного газу під час його транспортування.

В проєкті оновленої Енергетичної стратегії України до 2035 р. [1] зазначено, що в цей період найбільшими темпами планується збільшувати використання відновлюваних джерел енергії – їх частка у структурі загального первинного постачання енергії має збільшитися у 3,8 рази – з 6 % до 20 %. В рамках зобов'язань по виконанню вимог з приєднання до Третього енергетичного пакету ЄС, Україна має виконати Директиву ЄС 80/2001, що нормує викиди NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> та пилу великими ТЕС. Рівень викидів цих шкідливих речовин для великих ТЕС України у 2018 р. склав 1059 тис. т NO<sub>x</sub>, 193 тис. т SO<sub>x</sub> та 247 тис. т пилу. Згідно з Директивою ЄС 80/2001 до 2021р. Україна має зменшити викиди NO<sub>x</sub> до 49 тис. т, SO<sub>x</sub> до 53 тис. т, та пилу до 5 тис. т до 2021р. Досягнення цих показників може бути реалізовано через використання відновлюваних джерел енергії та атомної енергетики.

Україна, як член Енергетичного співтовариства, підписала Директиву ЄС 2009/28/ЕС щодо просування відновлюваної енергетики. Таким чином, держава має забезпечити обов'язкову частку відновлюваної енергії у структурі загального споживання в 2020 році на рівні 11%.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як згадувалось вище, необхідність широкого використання відновлюваних джерел енергії визначається швидким зростанням потреби в електричній енергії, вичерпанням у майбутньому розвіданих запасів органічного палива; кризовим станом довкілля в зв'язку із забрудненням оксидами азоту і сірки, вуглекислим газом, утворені частки пилу від згорання палива, радіоактивним і тепловим забрудненням тощо

Застосування існуючих технологій нетрадиційних джерел енергії не є досить досконалими, мають різний рівень економічної ефективності та різний технічний рівень. Однак про доцільність їх використання свідчить ряд переваг: дуже низький рівень (або зовсім не мають) викидів парникових газів; такі технології мають невичерпний запас палива необхідний для їх реалізації.

Деякі з цих технологій вже сьогодні є конкурентоспроможними і є всі підстави сподіватись, що в майбутньому їх економічна ефективність буде зростати на фоні зростання ціни і ускладнення умов видобутку традиційних енергоресурсів.

Питання підвищення ефективності використання нетрадиційних джерел енергії досліджувались в роботах Патона Б.Є. [1,2], Кудрі С.О. [3], Жесана Р.В. [4], Григораша О.В., Григораша Ю.П. [5], Ахметжанова Р.А. [6], Худолея В.Ю. [7] та ін. В даних працях не розглянуто аспекти поєднання геліо- та вітроенергоустановок та їх впровадження в промисловість, що свідчить про необхідність подальшого вивчення питання.

**Постановка завдання.** Завдання наукової праці полягає у виявленні найбільш раціональних комбінацій методів використання альтернативних джерел, що в свою чергу дозволяє покращити ефективність технології енергетичного комплексу, збільшення економічного рівня та розширення сфер використання.

Використання сонячних батарей дозволяє забезпечити будинки безкоштовної енергією, особливо в умовах нестабільності електропостачання. Однак у цього методу є один недолік – в похмуру погоду ефективність геліосистеми дуже низька, і споживачу необхідно мати додаткове джерело енергії. Застосування різного роду генераторів (бензинових, дизельних) незручно, оскільки вони вимагають значних витрат та утворюють значну кількість шуму. Кращий вихід – комбіновані установки, що включають в себе сонячні батареї і вітрогенератори. Це робиться для зниження залежності від одного джерела енергії і погодних умов, тому що бувають періоди затишшя при яскравому сонячному світлі і, навпаки, в похмуру погоду дме сильний вітер. Такі гібридні комплекси дозволяють в повній мірі використовувати можливості природної енергетики.

Вироблення електроенергії сонячними і вітроенергетичними установками значно залежить від погодних умов, зміна яких має випадковий характер. Тому необхідно здійснити пошук нових рішень описаної проблеми.

**Викладення матеріалу та результати.** Як описувалось вище, погодні умови впливають на вироблення енергії невідновлюваними джерелами. Доцільно в даному випадку використовувати гібридні комплекси.

Для вирішення ситуації, коли кліматичні умови далекі від ідеальних (недостатньо вітру або сонячного світла) вживають наступні заходи: на початковому етапі в проект майбутньої вітро-сонячної установки закладається потужність, на 20-30% більше заявленої замовником. Це дозволяє накопичувати електроенергію навіть під час споживання.

Ємність акумуляторної батареї також робиться надлишковою та розраховується виходячи з необхідного часу роботи в періоди затишшя та похмурої погоди. В системі використовуються герметичні необслуговувані AGM акумулятори, які не потребують періодичного додавання електроліту та не виділяють шкідливих газів. Термін служби батареї даного типу становить від трьох до п'яти років, в залежності від режиму експлуатації.

У вітро-сонячних установках, застосовуються унікальні контролери заряду акумуляторних батарей, що володіють проміжним блоком підвищення напруги. Це робить можливим використання енергії навіть найслабшого вітру. Сонячні ж батареї малоєфективні в похмуру погоду. Таким чином, вітряки та геліопанелі відмінно доповнюють один одного, забезпечуючи постійну зарядку акумуляторних батарей, що підтримує енергопостачання будинку на належному рівні. Ще одна перевага – сонячні системи не вимагають витрат на утримання та паливо, при цьому вони максимально ефективні в літній період, коли швидкість вітру зазвичай нижче.

У літній період та сонячної погоди взимку максимальне енерговироблення буде йти від сонячних батарей. А ось в похмурі міжсезоння, коли хмарність значна та швидкість вітру достатньо сильна, виробляти енергію будуть переважно вітряки.

В даний час в світі накопичений досвід по використанню сонячної та вітрової енергії. В умовах розвиненої геліо- і віротехніки необхідно досліджувати умови використання поновлюваних джерел та розробляти методи оцінки енергозабезпечення споживачів від відновлюваних джерел енергії.

Енергія, що виробляється геліо- або вітроенергетичною установкою непостійна протягом аналізованого проміжку часу (року, місяця, доби) внаслідок мінливості надходження сонячної і вітрової енергії. При цьому вироблення енергії залежить від параметрів енергоустановок. У якості основних параметрів геліоустановок розглядаються площа та кут нахилу сонячних колекторів, а для вітроенергетичних установок – площа вітроколеса, що омивається, і розрахункова швидкість вітру.

Вибір основних параметрів геліо- та вітроустановок проводиться по енергії, що виробляє установка, і яка відповідає споживаній за аналізований період. При цьому теплова енергія, що виробляється сонячною установкою, визначається для середніх умов розглянутого місяця. Денний, середньомісячний виробіток енергії з одиниці площі геліоустановки визначається за виразом, МДж/м<sup>2</sup>

$$Q_{в.год}^{\partial H} = F_R \cdot \left[ H \cdot (\overline{\tau\alpha}) \cdot R - U_L \overline{S} (T_{cp} - T_0) \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right]$$

або

$$Q_{в.год}^{\partial H} = F_R \cdot \left[ H_0 \cdot \left( a + b \cdot \frac{\overline{S}}{S_0} \right) \cdot (\overline{\tau\alpha}) \cdot R - U_L \overline{S} (T_{cp} - T_0) \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right],$$

де  $F_r$  – коефіцієнт, пов'язаний з ефективністю перенесення тепла від пластини колектору до рідини, що відводить тепло;  $(\overline{\tau\alpha})$  – наведена поглинальна здатність, що враховує результуюче вплив оптичних властивостей матеріалів колектору;  $U_L$  – коефіцієнт теплових втрат, що враховує можливі сумарні втрати з одиниці площі колектору;  $\overline{S}$  – денна середньомісячна тривалість сонячного сьйва;  $H$  – середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню площині колектору;  $R$  – відношення середньомісячних денних парафій сумарної енергії на похилу та горизонтальну поверхні;  $T_{cp}$  – середня температура теплоносія в колекторі;  $T_0$  – температура навколишнього середовища;  $H_0$  – еталонне (умовне) значення сумарної енергії;  $S_0$  – можлива тривалість сонячного сьйва, год;  $a$  та  $b$  – постійні коефіцієнти.

Зазвичай, основними критеріями вибору відновлюваних джерел енергії є: потужність, що розвивається, вартість електроенергії, що виробляється, розміри і вартість використаних енер-

гоустановок, частка заміщення вуглеводневого палива, відстань від відновлюваних джерел енергії до мереж централізованого електропостачання.

Для ефективного енергозабезпечення в новій системі енергопостачання необхідно мінімізувати всілякі витрати. Тоді цільова функція, вартість енергії, що виробляється системою комплексного енергопостачання, повинна бути мінімальною [14]

$$c = c_B f + c_T (1 + f) \rightarrow \min ,$$

де  $c_B$  і  $c_T$  – відповідно вартість енергії від поновлюваного та традиційного джерел;  $f$  - коефіцієнт заміщення, який показує частку потрібної енергії, що заміщується поновлюваним джерелом.

Використання відновлюваної енергії в системі комплексного енергопостачання можливе за умови

$$\begin{cases} c_B \leq c_T; \\ T_{ок} \leq T_{сл}, \end{cases}$$

де  $T_{ок}$ ,  $T_{сл}$  – відповідно терміни окупності та служби підсистеми, що використовує відновлювані джерела енергії.

В даний час ціни на енергоносії схильні до постійного зростання. Умови використання поновлюваних джерел енергії залежить як від місцевих кліматичних умов, так і соціально-економічних умов розвитку регіону.

Вартість перетвореної відновлюваної енергії і термін окупності підсистеми відновлюваних джерел енергії залежать від досконалості технічних рішень і технологій використання відновлюваної енергії. Технологія використання відновлюваних джерел залежить від режимів надходження і споживання відновлюваної енергії, тобто від умов узгодження поновлюваного джерела зі споживачем.

Економічний ефект в даній системі комплексного енергопостачання очікується за рахунок зниження вартості енергії

$$E = (c_T - c) \cdot Q_{II},$$

де  $Q_{II}$  – потрібна енергія.

При досягненні економічного ефекту необхідно, щоб додаткові капіталовкладення в існуючу традиційну систему енергопостачання окупилися в установлені терміни. Тоді як економічної характеристики в досліджуваній системі комплексного енергопостачання слід розглядати і термін окупності додаткових капіталовкладень.

Термін окупності додаткових капіталовкладень в систему комплексного енергопостачання визначається як

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{(c_T - c) \cdot Q_{II}}.$$

Ефективність досліджуваної системи комплексного енергопостачання безпосередньо пов'язана з використанням відновлюваних джерел. Тому окремо для підсистеми, що використовує відновлювані джерела, можна визначити порівняльний економічний ефект, який очікується в результаті доходу від продажу енергії, отриманої за рік роботи енергоустановки, за вирахуванням витрат на її експлуатацію  $E_{вие}$  [12], грн/рік

$$E_{вие} = (c_T Q_{II} f - 3_{уд} A),$$

де  $A$  - площа геліоустановки, або площа вітроколеса, що омивається.

Як бачимо, порівняльний економічний ефект залежить від площі енергоустановки, яка розглядається як основний параметр. Протягом року для кожного місяця необхідна своя площа, яка змінюється в межах від мінімальної  $A_0$  до максимальної  $A_m$ , зважаючи мінливості, надходить відновлюваної і необхідної потрібної енергії [12]. Тому необхідно вибрати конкретну площу для комбінованої установки.

Оскільки термін окупності залежить від величини очікуваного економічного ефекту, то через його незначності енергоустановки може зовсім не окупитися протягом терміну служби. Тоді поряд з порівняльною ефективністю підсистеми відновлюваних джерел енергії необхідно досліджувати термін окупності капіталовкладень. Термін окупності капіталовкладення на використання поновлюваних джерел енергії залежить від величини очікуваного економічного ефекту

$$T_{ок} = \frac{K_{вие}}{c_{м} Q_n f - 3_е},$$

де  $K_{вие}$  – капіталовкладення на використання відновлюваної енергії.

Таким чином, очікуваний порівняльний економічний ефект підсистеми відновлюваних джерел і термін окупності капіталовкладень є основними економічними характеристиками і залежать від корисної вироблення геліо- та вітроенергоустановки і необхідних на них витрат, які, наприкінці, визначають частку заміщення і вартість перетвореної відновлюваної енергії. Визначальним фактором корисного вироблення від відновлюваних джерел і необхідних витрат на їх використання є площа енергоустановки.

Щорічні витрати на використання відновлюваної енергії можна уявити через капіталовкладення на питому площу геліоустановки або площу вітроколеса вітроенергетичної установки, що омивається [13]

$$3_{вие} = u_{вие} \cdot \gamma_{вие} \cdot K_{вие} \cdot A_{вие},$$

де  $u_{вие}$  – сумарне відрахування від капіталовкладення на енергоустановку в річний експлуатаційний витраті;  $\gamma_{вие}$  – коефіцієнт, що враховує вартість будівельно-монтажних робіт і додаткового обладнання.

Тоді вартість корисної енергії, що виробляється геліоустановкою або вітроенергетичною установкою, кВт·год

$$c_е = \frac{3_е}{Q_n f} = u_е \gamma_е \frac{K_{уд}^е}{Q_n f} A_е.$$

У наведеному виразі з ростом площі енергоустановки витрати на неї (чисельник) ростуть швидше, ніж корисне вироблення (знаменник), а отже, існує екстремум функції. Тоді площу геліо- або вітроенергетичної установки можна вибирати довільно, вона повинна бути оптимальною. При цьому вибір площі енергоустановки повинен бути підпорядкований кінцевій меті, коли очікується мінімальна вартість енергії в системі комплексного енергопостачання.

Умови ефективного енергозабезпечення з використанням сонячної або вітрової енергії залежать в основному від капіталовкладення на геліо- та вітроенергоустановки і вартості традиційної енергії. Величина оптимальної площі залежить від співвідношення цих величин.

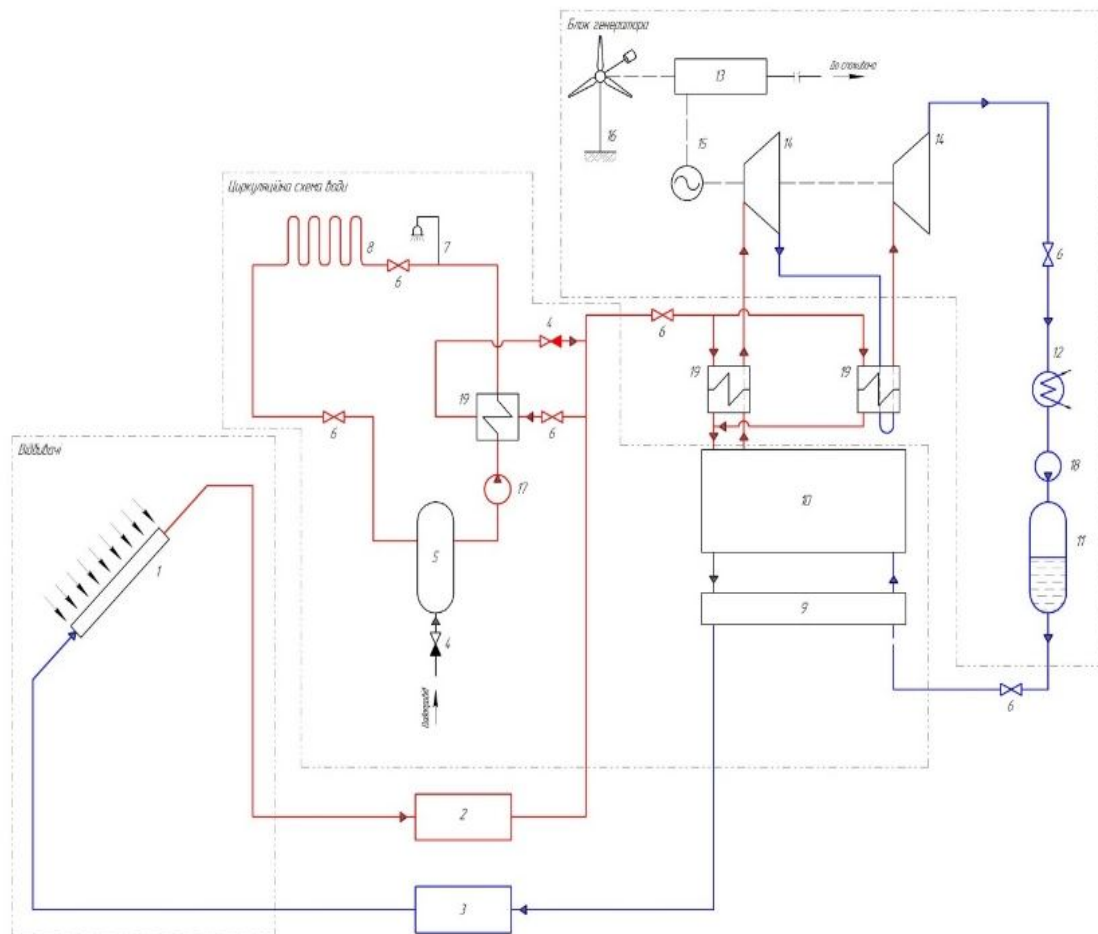
Допустима величина питомого капіталовкладення залежить від умов вироблення корисної енергії енергоустановкою геліоенергоустановкою або вітроенергоустановкою протягом аналізованого терміну і вартості енергії, що заміщується. З іншого боку, по заданій величині питомого капіталовкладення можна встановити мінімальну вартість традиційної енергії, коли ефективно використання відновлюваної енергії.

Для більш крупних промислових споживачів маємо альтернативну схему вироблення електроенергії з застосуванням паротурбінної установки (рис.).

У той час, коли вітроенергетична установка повністю забезпечує об'єкт електроенергією, а рівень сонячної іррадіації недостатній для продуктивної роботи паротурбінної установки, можливо використовувати накоплену у геліоприймачах енергію для потреб місцевого теплопостачання.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Найбільш економічно вигідним рішенням для комунальних споживачів є використання комбінації сонячних фотопанелей та вітрових генераторів. Термін окупності даної схеми є більшим в порівнянні з системами на традиційних видах палива, що зумовлено значними капітальними затратами на інсталяцію такої системи. Однак враховуючи значно більший строк експлуатації та постійне експоненційне зростання вартості енергоносіїв, впровадження є досить ефективним.

Для більш великих промислових споживачів вигідніше використовувати альтернативну схему вироблення електроенергії з застосуванням паротурбінної установки. У той час, коли вітроенергетична установка повністю забезпечує об'єкт електроенергією, а рівень сонячної іррадіації недостатній для продуктивної роботи паротурбінної установки, можливо використовувати накоплену у геліоприймачах енергію для потреб місцевого теплопостачання.



**Рис.** Принципова тепла схема сонячно-вітрової електростанції: 1 – сонячні модулі; 2 – бак гарячий; 3 – бак холодний; 4 – зворотній клапан; 5 – водяний бак; 6 – клапан; 7 – душова; 8 – опалення; 9 – підігрівач; 10 – парогенератор; 11 – конденсаційний бак; 12 – конденсатор; 13 – контролер; 14 – конденсаційна турбіна; 15 – генератор; 16 – вітрогенератор; 17 – насос; 18 – конденсаційний насос; 19 – теплообмінник

### Список літератури

1. Проект енергетичної стратегії України до 2035 року. К.: 2016. – 97 с. Режим доступа: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=245165746&cat\\_id=245165726](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245165746&cat_id=245165726) (дата звернення 17.08.2017)
2. Патон Б. С. Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем / Б. С. Патон // Вісник НАН України. – 2012. – № 3. – С. 48-58
3. Нетрадиционная энергетика // Экология и жизнь. – 2001. – № 6. – С. 24-27.
4. Челіжко В. Безперспективна стратегія для альтернативної енергетики / В. Челіжко // Уряд. кур'єр. – 2012. – 26 лип. (№ 132)– 4 с.
5. Денисенко Г. И. Комплексное использование возобновляемых источников энергии / Г. И. Денисенко. – К.: Знання УССР, 1984. – 32 с.
6. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с
7. Жесан Р. В. Шляхи енергозбереження у комунально-побутовому господарстві України в світлі зростання тарифів та більш широкого запровадження відновлюваних джерел енергії / Р. В. Жесан, О. П. Голик, А. А. Попок // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград: КНТУ, 2016. - Вип. 29. - С. 185-192
8. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии: Монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов; под общ. ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012, – 272 с.
9. Прокіл А. Сучасні підходи до енергозабезпечення людства в умовах формування суспільства сталого розвитку / А. Прокіл // Економіка України. – 2012. – № 5. – С. 85-91
10. Ясенецький В. Відновлювальна енергетика XXI століття [Текст] / В. Ясенецький, В. Клименко // Новини агротехніки. – 2007. – № 5. – С. 38–39.
11. Ахметжанов Р.А. Повышение эффективности использования солнечной и ветровой энергии для тепло-снабжения сельскохозяйственных потребителей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Ахметжанов. - Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2005. - 23 с.

12. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников: учеб. пособие для вузов / Л.А. Саплин, С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина [и др.]; под общ. ред. Л.А. Саплина. - Челябинск, 2000. - 194 с.

13. Охоткин Г.П., Серебрянников А.В. Основные принципы построения автономных солнечных электростанций [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. №6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7345> (дата обращения: 09.11.2012).

14. Шерьязов С.К. Обоснование эффективной системы энергоснабжения с использованием возобновляемой энергии / С.К. Шерьязов // Ползуновский вестн. АлтГТУ. - 2006. - Вып. 4. - №2. - С. 434-439.

15. Щекун Л. Сонячна енергетика освоєє південні степи / Л. Щекун // Уряд. кур'єр. – 2012. – 23 лист.(№ 216). – С 11.

Рукопис подано до редакції 02.04.2019

УДК 681.03

І.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.С. ВАТРЯ, ст. викладач  
Криворізький національний університет

## АНАЛІЗ ДОДАТКУ ЕМУЛЯЦІЇ ТРИВИМІРНОЇ СЦЕНИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШЕЙДЕРІВ ТА ЗАСОБІВ OPENGL

У публікації розглянуто спосіб поєднання функціоналу OpenGL з засобами шейдерів для досягнення оптимальної швидкодії при обробці графічних об'єктів.

**Мета дослідження:** побудова тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

**Методи дослідження:** програмування та математична обробка наборів векторних графічних примітивів.

**Наукова новизна:** системний аналіз побудови тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL.

**Практична значимість:** удосконалено можливості відкритого стандарту, такі як поглинання та розсіювання світла, накладення текстур та ефекту пост-обробки. Представлені блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії та **блок-схема алгоритму роботи шейдерів вершин та геометрії для створення пост-обробки**. Відзначено особливості програмування даної сфери. Запропоновано методи та алгоритми вирішення задач створення програмного забезпечення візуалізації тривимірної сцени.

**Результати:** у статті представлено можливості додатку для моделювання тривимірної сцени із використанням потужностей шейдерів та OpenGL. Розглянуто призначення шейдерів. Відмічено, що OpenGL - це графічний стандарт в області комп'ютерної графіки. На даний момент він є одним з найпопулярніших графічних стандартів у всьому світі. Стаття характеризує OpenGL, як єдиний стандарт для розробки тривимірних додатків, що поєднує в собі такі якості як силу і в той же час простоту. Мультиплатформеність дозволяє легко переносити програмне забезпечення з однієї операційної системи в іншу. Активне використання тривимірної графіки в багатьох сферах наукової діяльності та промисловості є актуальною проблемою. Традиційно підтримка тривимірної графіки обмежувалася високопродуктивними комп'ютерами або спеціалізованими ігровими консолями, а її програмування вимагало застосування складних алгоритмів. Однак, завдяки зростанню продуктивності персональних комп'ютерів і розширенню можливостей браузерів стало можливим створення і відображення тривимірної графіки із застосуванням нових технологій.

**Ключові слова:** шейдер, тривимірні сцени, графічні об'єкти, інтерфейс, відеоефекти.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-154-159

**Об'єктом дослідження** є шейдери GLSL та OpenGL, їх зв'язок.

**Предметом дослідження** є застосування шейдерів та бібліотеки OpenGL для відображення графічних об'єктів.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Розробкою та використанням OpenGL займаються найбільші фірми розробники як обладнання так і програмного забезпечення: Silicon Graphics, Inc., Microsoft, IBM Corporation, Sun Microsystems, Inc., Digital Equipment Corporation (DEC), Evans & Sutherland, Hewlett-Packard Corporation, Intel Corporation та Intergraph Corporation. Програмісти, дизайнери, розробники сайтів використовують можливості бібліотек OpenGL, тому тема, що розглянута автором досить актуальна[5].

**Постановка задачі.** Побудова тривимірної сцени за допомогою шейдерів та бібліотеки OpenGL, з розробленням наступних можливостей: поглинання та розсіювання світла; накладення текстур; ефект пост-обробки; завантаження тривимірної моделі за допомогою бібліотеки Assimp.