

DOI 10.15589/jnn20150605  
 УДК 005.8: 621.438  
 Б91

## FEATURES OF THE DEVELOPMENT PROJECTS FOR POWER SYSTEMS WITH PLASMA-CHEMICAL ELEMENTS

### ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТІВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Kateryna S. Burunsuz  
 katya.2012s@yandex.ru  
 ORCID: 0000-0001-5778-6663

К. С. Бурунсуз  
 асп.

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

**Abstract.** The basic problems that can be solved by using plasma-chemical elements for power engineering are determined. The examples of implementation of plasma-fuel systems as a part of the thermal power stations in different countries are presented. The main characteristics of fuel plasma ignition systems for gas turbine engines are shown. It has allowed to make a conclusion about importance of plasma-chemical elements using in the different energy systems, both in Ukraine and abroad. The necessity of development of models and mechanisms for the effective project management to reduce the negative factors that occur during the execution of the projects is substantiated. The structural diagram of major development projects for energy systems using plasma-chemical elements, and innovative research projects for development of plasma-chemical elements are presented. The existence of restrictions to review the project management processes and programs is substantiated. The main features of the development projects for energy systems with the account of properties of plasma-chemical elements are determined.

**Keywords:** plasma-chemical elements; innovative research projects; development projects for energy systems.

**Анотація.** Виділені основні проблеми, які можуть бути вирішені за допомогою плазмохімічних елементів для енергетичного обладнання. Обґрунтовано необхідність розробки моделей і механізмів ефективного управління ресурсами проєктів розвитку енергетичних систем.

**Ключові слова:** плазмохімічні елементи; інноваційні науково-дослідні проєкти; проєкти розвитку енергетичних систем.

**Аннотация.** Выделены основные проблемы, которые могут быть решены с помощью плазмохимических элементов для энергетического оборудования. Обосновано необходимость разработки моделей и механизмов эффективного управления ресурсами проектов развития энергетических систем.

**Ключевые слова:** плазмохимические элементы; инновационные исследовательские проекты; проекты развития энергетических систем.

## REFERENCES

- [1] Ivasenko A. G., Nikonova Ya. I., Sizova A. O. *Upravlenie proektami: uchebnoe posobie* [Project management]. Novosibirsk, Siberian state geodetic academy Publ., 2007. 198 p.
- [2] Karpenko Ye. I., Messerle V. Ye., Ustimenko A. B. *Plazmennye metody povysheniya effektivnosti ispolzovaniya tverdykh topliv* [Plasma methods for efficiency of solid fuel application improvement]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya* [Bulletin of East-Siberian state University of technologies and management], 2014, issue 1, pp. 31–43.
- [3] Romanovskiy G. F., Serbin S. I. *Plazmokhimicheskie sistemy sudovoy energetiki* [Plasma-chemical system for marine power engineering]. Nikolaev, USMTU Publ., 1998. 246 p.
- [4] ANSI/PMI. American national standard PMBOK® Guide: A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Newtown, Project Management Institute Publ., 2008. 209 p.
- [5] Serbin S. I., Goncharova N. A. *Teoreticheskoe issledovanie protsessov plazmennoy gazifikatsii uglia* [Theoretical investigation of plasma coal gasification processes]. *Visnyk NUK* [Bulletin of National University of Shipbuilding], 2012, issue 2, pp.109–115.
- [6] Gao H., Chui E., Runstedtler A., Tang H. Numerical Investigation of Plasma Ignition Process in a Utility Boiler. *Proceedings of the 6-th Int. Workshop and exhibition on plasma assisted combustion*, 2010, p. 69.

- [7] Matveev I. B., Washcilenko N. V., Serbin S. I., Goncharova N. A. Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant. *IEEE Transactions on plasma science, special issue on plasma-assisted technologies*, 2013, vol. 41, issue 12, pp. 3195–3200.
- [8] International Plasma Technology Center. Available at: <http://plasmacombustion.org>.
- [9] Matveev I., Serbin S., Serbina K. Theoretical Investigation of the Physical and Chemical Processes in a Liquid Fuel Plasma Assisted Reformer. *Proceedings of 4-nd Int. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion*, 2008, pp. 64–67.
- [10] Matveev I. B. Plasma Assisted Combustion, Gasification, and Pollution Control. Volume 1. Methods of plasma generation for PAC. Denver, Colorado, *Outskirts Press, Inc*, 2013. 538 p.
- [11] Serbin S. I., Matveev I. B., Goncharova N. A. Plasma-assisted reforming of natural gas for GTL — Part 1. *IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies*, 2014, vol. 42, issue 12, pp. 3896–3900.
- [12] Serbin S., Mostipanenکو A., Serbina K., Matveev I. Development of the Convective Cooling System for the Gas Turbine Plasma Assisted Combustor. *Proceedings of the 7-th Int. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion*, 2011, pp. 31–34.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблема ефективного використання вуглеводневих палив в енергетиці України та у інших країнах світу є актуальною, особливо за умов зростаючих екологічних вимог до енергетичних комплексів та систем в різних галузях промисловості [2, 3, 10]. Одним з наукових напрямків вирішення цієї проблеми є впровадження новітніх екологічно чистих енергетичних систем, до складу яких включені плазмохімічні елементи [3, 5, 7, 11]. Вирішення завдань проєктів та програм розробки та впровадження даних енергетичних систем на підставі методології теорії управління проєктами [1, 4] являє собою актуальну науково-прикладну задачу.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Виконаний аналіз досліджень та публікацій [3, 8, 9, 10, 12] дозволив визначити основні напрямки застосування енергетичних систем, які містять плазмохімічні елементи (ПХЕ).

Прогресивні та екологічно чисті плазмові технології мають високий рівень можливостей для впровадження в різних галузях господарювання. Наприклад, ринок плазмової газифікації вугілля оцінюється більш ніж в 30 млрд. доларів, ринок плазмового знешкодження відходів — приблизно в 90 млрд. доларів [8]. При цьому плазмова переробка відходів, які США генерують щорічно, дозволить заощадити від 6 до 10% національного споживання електрики.

Широке поширення плазмохімічні елементи отримали для вирішення завдань надійного займання паливо-повітряних сумішей у газотурбінних двигунах і установках. Розроблені в Національному університеті кораблебудування (НУК) імені адмірала Макарова системи плазмового займання рідких і газоподібних палив [3] стали першими в світі плазмохімічними системами, які експлуатувалися в складі газотурбін-

них енергетичних систем. Промислова експлуатація систем плазмового займання почалася з 12 агрегатів ГТ-750-6М у ВО «Шебелінкагазпром» в 1986 р. Вона показала високу ефективність плазмових систем, надійність, зручність монтажу і експлуатації, ремонтпридатність. Системи плазмового займання в даний час знаходяться в промисловій експлуатації в складі понад 500 газотурбінних агрегатів типу ГТ-750-6М, ГТК-10, ГТНР-10, ГТН-25, ГТН-16, ГПА-6, ГТН-6, ГПА-10, ГПА-16 та інших на компресорних станціях «Шебелінкагазпром», «Прикарпаттрансгаз», «Черкаситрансгаз», «Київтрансгаз», «Тюментрансгаз», «Севергазпром», «Волготрансгаз». Для оснащення газотурбінних двигунів виробництва НВКГ «Зоря» – «Машпроект» (Україна) виготовлені і переда-

**Таблиця 1.** Промислова реалізація систем плазмового займання палива для газотурбінних двигунів

Тип системи	Запальник	Струм дуги, А	Напруга на дузі, В	Маса системи, кг, не більше
СПВ-1	ВПТ-1	6,0±1,0	170–240	20,2
	ВПТ-2	5,0±0,5	180–240	20,1
СПВ-1-1	ВПТ-1	7,0±1,0	170–240	18,2
	ВПТ-2	6,0±1,0	170–240	18,1
	ВПТ-3	6,0±1,0	170–240	19,0
СПВ-1-2	ВПЛ-1	4,5±1,2	150–250	18,6
СПВ-1-7	ВПЛ-4	5,0±1,0	150–250	21,5
	ВПЛ-7-1	5,0±1,0	150–250	20,5
СПВ-1-8	ВПТ-5	5,0±1,0	150–250	18,9
	ВПЛ-8	5,0±1,0	150–250	18,9
СПВ-1-9	ВПТ-5	5,0±1,0	150–250	19,4
	ВПЛ-4	5,0±1,0	150–250	20,4
	ВПЛ-7-1	5,0±1,0	150–250	19,3
	ВПЛ-8	5,0±1,0	150–250	19,4
СПВ-1-13	ВПЛ-12	5,5±1,0	100–200	19,0
СПВ-1-14	ВПЛ-12	5,5±1,0	100–200	19,2

Таблиця 2. Промислова реалізація плазмово-паливних систем для котельних агрегатів

№	Розташування ТЕС	Рік введення	Тип котла	Кількість котлів	Паропроодуктивність, т/год	Кількість ПТС
<i>Росія</i>						
1	Гусиноозерська ДРЕС	1994–1995	ТПЕ-215	2	670	8
			БКЗ-640	2	640	7
2	Черепетська ДРЕС	1997	ТП-240	1	240	4
3	Нерюнгрінська ДРЕС	1997	КВТК-100	1	116 МВт	2
4	Партизанська ДРЕС	1998	ПТ-170	1	170	2
5	Улан-Уденська ТЕЦ-2	1997	ТПЕ-185	1	160	2
6	Хабарівська ДРЕС	1998	ТПЕ-216	1	670	4
<i>Україна</i>						
7	Курахівська ТЕС	1999	ТП-109	1	670	4
8	Миронівська ДРЕС	1989	ТП-230	1	230	2
<i>Казахстан</i>						
9	Алма-Атинська ДРЕС	1996	БКЗ-420	1	420	6
10	Усть-Каменогорська ТЕЦ	1989	ЦКТИ-75	2	75	4
11	Алма-Атинська ТЕЦ-2	2011	БКЗ-420	1	420	6
<i>Монголія</i>						
12	Улан-Баторська ТЕЦ-4	1994	БКЗ-420	8	420	16
13	Ерденетська ТЕЦ	1995	БКЗ-75	1	75	1
<i>Китай</i>						
14	Баодийська ТЕС	1995	Ч-200	1	200	3
15	Шаогуанська ТЕС	1999–2001	F-220/100-W	1	230	4
			K-75	1	75	1
16	Шеньянська ТЕС «Золота гора»	2007	BG-75/39-M	1	75	2
17	Нансинська ТЕС «Ганшун»	2009	BG-950/150	1	950	4
<i>Північна Корея</i>						
18	Східно-Пхеньянська ТЕС	1993	E-210	1	210	3
<i>Словаччина</i>						
19	ТЕС «Вояни»	2000	TAVICI	1	350	2
<i>Сербія</i>						
20	Белградська ТЕС «Микола Тесла»	2007	ТП-210	1	650	16

ні замовнику більше 200 систем для ГПА-16 (ДЖ-59), ГПА-6,3 (ДТ-71), ГПА-16 (ДГ-90) та ГПА-25 (ДН-80) [3].

У результаті проведених науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з 1988 р. в НУК проводиться серійний випуск систем плазмового займання типу СПВ і СПВИ (СПВ-1, СПВ-1-1, СПВ-1-2, СПВ-1-7, СПВ-1-8, СПВ-1-9, СПВ-1-13, СПВ-1-14, СПВИ-1, СПВИ-1К, СПВИ-1-1К, та інші) для суднових і стаціонарних газотурбінних двигунів і котлоагрегатів різних типів. Основні характеристики систем наведено в табл. 1 [3].

Серед технічних рішень, спрямованих на вирішення завдання комплексної переробки високозолярного вугілля, найбільш прогресивними вважаються плазмові методи термохімічної переробки, засновані на використанні енергії плазми для термохімічних перетворень органічної та мінеральної частини вугілля.

Плазмохімічні елементи, що дозволяють замінити вугіллям дорогі і дефіцитні газ і мазут на ТЕС, вже досить широко використовуються у світовій практиці. В табл. 2 представлені дані про приклади реалізації плазмово-паливних систем (ПТС) у складі ТЕС різних країн [2]. Є дані [6] про впровадження китайською компанією YanTai LongYuan Electric Power Technology Co., LTD більш ніж 500 плазмово-паливних систем на теплових станціях Китаю.

Наведені в табл. 1, 2 дані свідчать про широке розповсюдження плазмохімічних елементів в складі різних енергетичних систем як в Україні, так і закордоном.

Вивчення можливостей практичного використання вже наявних плазмових технологій, розробка нових стратегічних напрямів їх вдосконалення і розвитку потребує ефективних, скоординованих і сфокусованих

зусиль вчених і інженерів різних країн світу, які чітко уявляють мету досліджень, мають добре організоване управління, джерела фінансування та відповідно сучасну науково-технічну і виробничу базу. Прикладом подібного роду координуючих органів є Міжнародний центр плазмових технологій (International Plasma Technology Center — IPTC) — громадська організація, що об'єднує понад 500 провідних фахівців із 10 країн світу та 50 дослідницьких центрів [8].

Однак, як довів виконаний аналіз [3, 10], на теперішній час відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо управління проектами та програмами розвитку енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів, які враховують їх особливості.

**МЕТА СТАТТІ** — визначення особливостей класу проектів розвитку енергетичних систем з використанням ПХЕ.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

На підставі виконаного аналізу визначені основні проекти розвитку енергетичних систем з використанням ПХЕ (рис. 1), а також інноваційні дослідницькі проекти з розробки ПХЕ (рис. 2).

Відмітимо, що найбільш поширеними в практиці на даний час є плазмохімічні технології займання та супроводу горіння різних палив (газоподібних, рідких і твердих) [2, 3, 10] для енергетичного устаткування. Нові інноваційні проекти з виробництва екологічно чистої енергії з використанням ПХЕ спрямовані на вдосконалення паливосполюючих пристроїв різних типів на основі використання новітніх зворотньо-вихрових камер згорання з плазмовим супроводом, камер згорання з просторовою електричною дугою, плазмових опалювачів органічних матеріалів та синтез-газу тощо.

Найбільш масштабними з представлених на рис. 1 та 2 проектів можна вважати проекти з газифікації

вугілля, твердих речовин біологічного походження та біомаси. Вони вимагають високого професіоналізму учасників, ретельного техніко-економічного обґрунтування, найбільшого фінансування, є довгостроковими, а за рівнем рішення, є, зазвичай, міжнародними, багаточільовими та комплексними (так звані мегапроекти).

Близькими за характером робіт до них є проекти з плазмохімічної переробки та утилізації відходів, які в даний час розглядаються як перспективні в країнах Європи, США, Китаї, Україні.

Плазмові технології розширюють можливості з переробки й радіоактивних відходів. Вони дозволяють отримувати продукт у вигляді склоподібного шлакового компаунда, що має високу хімічну стійкість до агресивних впливів навколишнього середовища та придатний до транспортування та захоронення.

Проблеми зміни клімату, пов'язані з використанням вуглеводневих палив, вимагають модифікації процесів спалювання палив та конструкцій паливосполюючих пристроїв. Стабілізація збідненого паливом сумішей на теперішній час є однією з головних перепон к досягненню мінімальних викидів токсичних компонентів. Плазмохімічне управління стабілізацією полум'я при спалюванні різних палив забезпечує основу для побудови екологічно чистих камер згорання для різних енергетичних установок, що дозволить значно зменшити викиди шкідливих парникових газів в атмосферу.

Плазмохімічна конверсія різних палив, наприклад газоподібних в рідкі синтетичні, з використанням технології Фішера-Тропша (каталітичного процесу гідрування монооксиду вуглецю з утворенням суміші рідких вуглеводнів) є економічно привабливою для країн, що мають певний надлишок газоподібного пального (природного газу, сланцевого газу) чи складності з його транспортуванням.

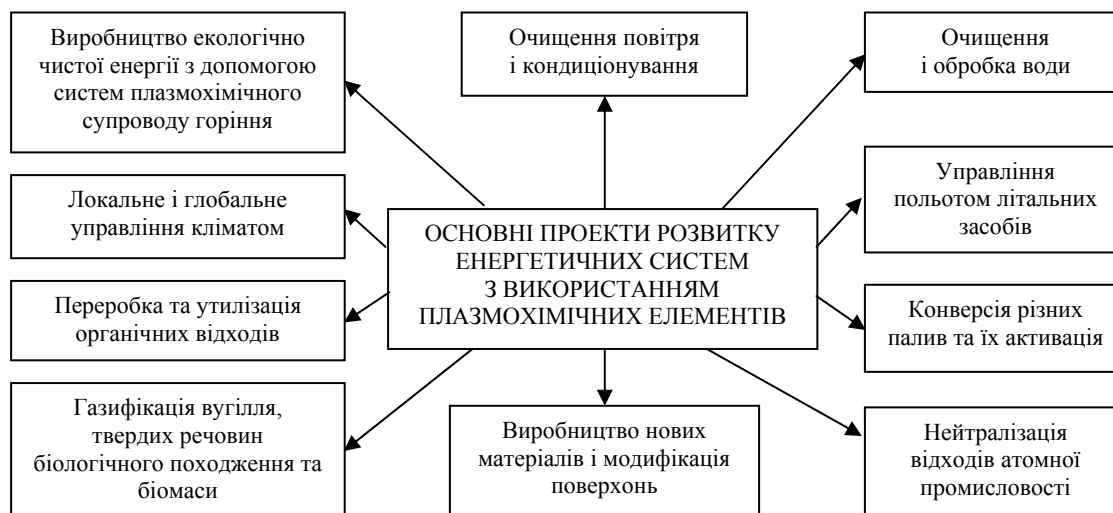


Рис. 1. Основні проекти розвитку енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів

Плазмове управління польотом літальних засобів передбачає використання так званих плазмових актуаторів (plasma actuators) на основі наносекундних розподілених розрядів в газі над поверхнею діелектрика (діелектричний бар'єрний розряд), які дозволяють впливати на ударні хвилі в приміжевому шарі при надзвуковому обтіканні елементів літальних апаратів.

Плазмове очищення повітря і води передбачає використання об'ємно-дифузійних розрядів для глибокої очистки повітря і води з мінімальними енергетичними витратами навіть при наявності високостійких мікроорганізмів і хімічних реагентів, дезактивація яких іншими методами проблематична. Незаперечна перевага

даного методу полягає в тому, що вся енергія розряду йде на знищення мікрофлори і руйнування хімічних забруднень органічного і неорганічного характеру.

Плазмове обробка створює умови для інноваційних новітніх виробничих процесів, комбінування матеріалів і продуктів. За допомогою плазмових нанотехнологій в залежності від поставлених завдань утворюються специфічні функціональні покриття, які проникають навіть в мікроструктуру поверхні матеріалу. При цьому утворюється високоефективний шар, що наділяє матеріал принципово новими властивостями.

В цілому, головними особливостями проектів розвитку енергетичних систем з використанням ПХЕ слід вважати:

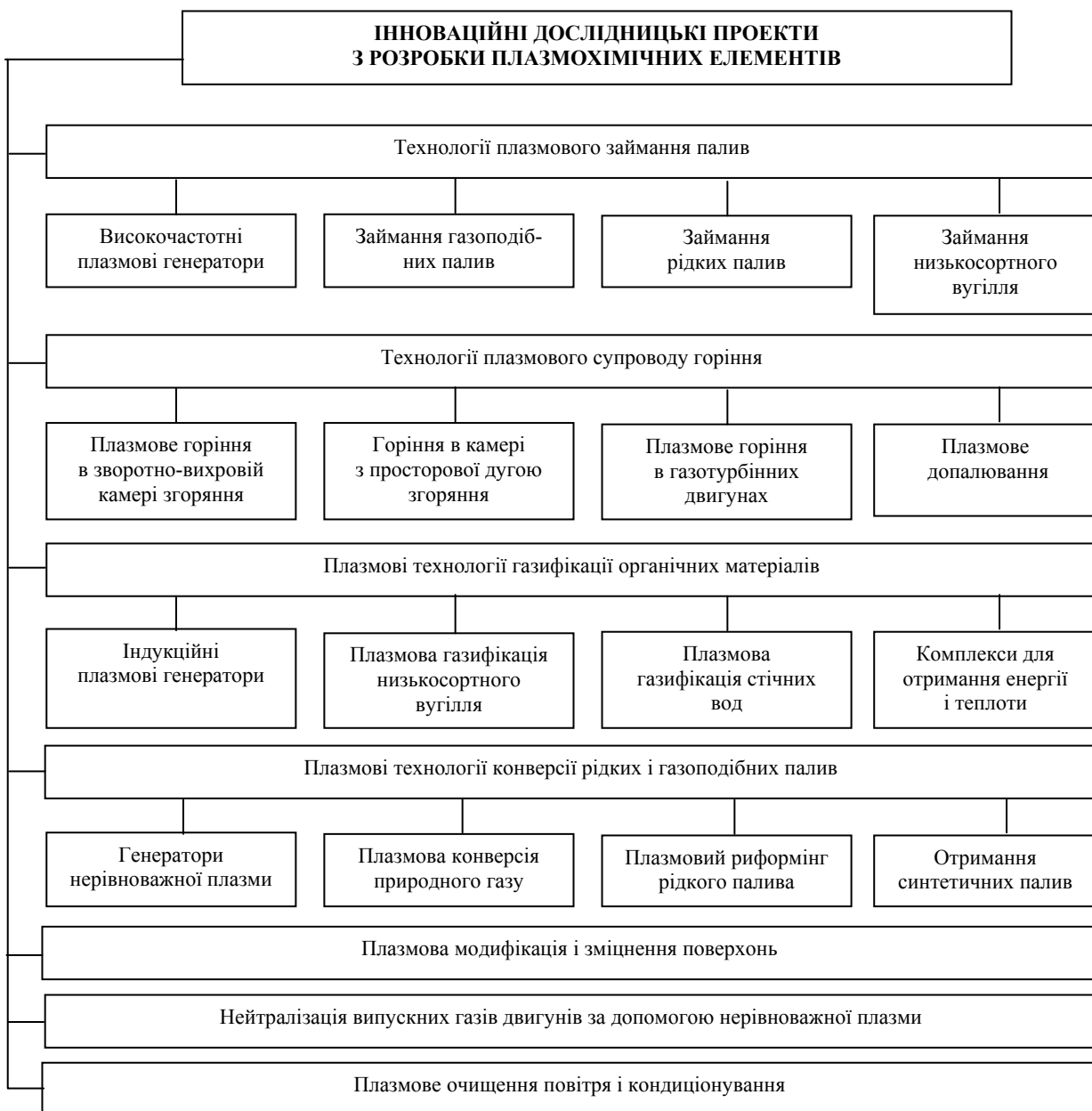


Рис. 2. Структура інноваційних дослідницьких проектів з вдосконалення плазмових технологій

- широке цільове призначення продуктів проекту;
- значний спектр техніко-технологічних показників продукту проекту;
- розгалуженість організаційних систем дослідження, проектування та впровадження продукту проекту;
- висока додана вартість відповідних інтелектуальних та виробничих ресурсів;
- проблеми координації проектів та програм;
- значні труднощі у процесі довгострокового планування і оперативного управління;
- значні інституціональні впливи;
- існування обмежень для ознайомлення з процесами управління проектами та програмами.

Визначені особливості проектів пояснюються наступним. Так, широке цільове призначення визначається різноманітністю енергетичного устаткування, що використовується при виконанні інноваційних дослідницьких проектів. Значний спектр техніко-технологічних показників продукту проекту пояснюється тим, що плазмохімічні елементи значно відрізняються один від одного за конструктивними особливостями, потужністю, різновидами плазмотворючої сировини, типами джерел живлення тощо. Розгалуженість організаційних систем обумовлена різноманітністю організацій, що залучені до сумісного виконання проекту, особливо, якщо ці організації знаходяться в різних країнах. Це також призводить до певних проблем в ефективній координації проектів

та в процесах планування і оперативного управління. Висока додана вартість ресурсів визначається необхідністю розв'язання при вирішенні конкретних прикладних задач і деяких питань, пов'язаних з фундаментальними проблемами. В якості прикладу можна навести розробку принципово нового індукційного високочастотного плазмового генератора [9], що працює на атмосферному та підвищених тисках, для виконання проекту з газифікації низькосортного вугілля. Існування обмежень для ознайомлення з процесами управління проектами та програмами притаманні даному класу проектів тому, що вони мають високу комерційну привабливість, можливості подвійного використання результатів продукту проекту тощо.

На підставі виконаного аналізу визначені основні особливості, які притаманні окремим проектам розвитку енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів (табл. 3).

**ВИСНОВКИ.** 1. Визначено основні проекти розвитку екологічно чистих енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів та напрямки інноваційних дослідницьких розробок плазмових технологій, які є основою для формування баз даних та баз знань з управління такими проектами. 2. Визначені особливості дозволяють враховувати їх при формуванні та реалізації проектів і програм розвитку енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів, а також інноваційних дослідницьких проектів з розробки плазмохімічних елементів.

**Таблиця 3.** Особливості деяких проектів розвитку енергетичних систем з використанням плазмохімічних елементів

Особливість проекту	Найменування проекту				
	Енергетичний комплекс з плазмохімічної газифікації вугілля	Системи плазмового займання для газоперекачувальних агрегатів	Плазмова переробка органічних відходів	Плазмова конверсія палив та їх активація	Плазмові актуатори управління польотом
Соціальна значущість	Висока	Висока	Висока	Висока	Середня
Обсяги фінансування	Дуже високі	Середні	Дуже високі	Високі	Дуже високі
Термін виконання	Довгостроковий	Короткостроковий	Довгостроковий	Середньостроковий	Середньостроковий
Необхідність додаткових фундаментальних досліджень	+	–	+	+	+
Рівень науково-технічної значущості	Новаторський	Піонерний	Новаторський	Піонерний	Новаторський
Масштабність проекту	Мегапроект	Монопроект	Мультипроект	Мультипроект	Мультипроект
Подвійне призначення	–	–	–	–	+
Ступінь ризику	Високий	Середній	Середній	Середній	Високий
Рівень професіоналізму виконавців	Високий	Високий	Високий	Високий	Високий

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Ивасенко, А. Г.** Управление проектами : учебное пособие [Текст] / А. Г. Ивасенко, Я. И. Никонова, А. О. Сизова. — Новосибирск : СГГА, 2007. — 198 с.

- [2] **Карпенко, Е. И.** Плазменные методы повышения эффективности использования твердых топлив [Текст] / Е. И. Карпенко, В. Е. Мессерле, А. Б. Устименко // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. — 2014. — № 1. — С. 31–43.
- [3] **Романовский, Г. Ф.** Плазмохимические системы судовой энергетики [Текст] / Г. Ф. Романовский, С. И. Сербин. — Николаев : УГМТУ, 1998. — 246 с.
- [4] Руководство к Своду знаний по управлению проектами. Четвертое издание (Руководство PMBOK®) Американский национальный стандарт ANSI/PMI 99-001-2008 [Текст] / Project Management Institute. — 209 с.
- [5] **Сербин, С. И.** Теоретическое исследование процессов плазменной газификации угля [Текст] / С. И. Сербин, Н. А. Гончарова // Вісник Національного університету кораблебудування. — 2012. — № 2. — С. 109–115.
- [6] **Gao, H.** Numerical Investigation of Plasma Ignition Process in a Utility Boiler [Text] / H. Gao, E. Chui, A. Runstedtler, H. Tang // 6-th Int. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion. — Heilbronn, Germany, 2010. — P. 69.
- [7] Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant [Text] / I. B. Matveev, N. V. Washcilenko, S. I. Serbin, N. A. Goncharova // IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies, 2013. — Vol. 41, Issue 12. — Pp. 3195–3200.
- [8] International Plasma Technology Center [Electronic resource]. — Mode of access: <http://plasmacombustion.org>.
- [9] **Matveev, I.** Theoretical Investigation of the Physical and Chemical Processes in a Liquid Fuel Plasma Assisted Reformer [Text] / I. Matveev, S. Serbin, K. Serbina // 4-nd Int. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion. — Falls Church, Virginia, USA, 2008. — Pp. 64–67.
- [10] Plasma Assisted Combustion, Gasification, and Pollution Control. Volume 1. Methods of plasma generation for PAC [Text] / Chief editor I. B. Matveev. — Denver, Colorado: Outskirts Press, Inc, 2013. — 538 p.
- [11] **Serbin, S. I.** Plasma-assisted reforming of natural gas for GTL — Part 1 [Text] / S. I. Serbin, I. B. Matveev, N. A. Goncharova // IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies, 2014. — Vol. 42, Issue 12. — Pp. 3896–3900.
- [12] **Serbin, S.** Development of the Convective Cooling System for the Gas Turbine Plasma Assisted Combustor [Text] / S. Serbin, A. Mostipanenko, K. Serbina, I. Matveev // 7-th Int. Workshop and Exhibition on Plasma Assisted Combustion. — Las Vegas, Nevada, USA, 2011. — Pp. 31–34.

---

© К. С. Бурунсуз

Надійшла до редколегії 14.12.2015

Статтю рекомендує до друку  
д-р техн. наук, проф. *Ю. М. Харитонов*