**АТОМНІ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ З ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИМИ**

**ЯДЕРНИМИ РЕАКТОРАМИ**

**NUCLEAR POWER PLANTS WITH HIGH TEMPERATURE**

**NUCLEAR REACTORS**

Науковий керівник: докт. техн. наук, проф. кафедри атомних електростанцій

Дубковський В’ячеслав Олександрович

Здобувач бакалавріату Ліненко Антон Юрійович

Supervisor: Dr. Sci., Professor Department of Nuclear Power Plants

Dubkovskyy Viacheslav Oleksandrovych

Bachelor Linenko Anton Yuriyovich

**Анотація:** В електроенергетиці використовують 4 типи реакторів, в статті більше детально описаний один із них - високотемпературний реактор с газовим охолодженням (ВТГР). Наведені конструкційний матеріал, паливо, теплоносій та його характеристики.

Розглянуто особливості ВТГР, які надають переваги над іншими типами реакторів.

**Ключові слова:** Високотемпературні реактори; ККД; переваги ВТГР; теплоносій;

**Annotation:** Power industry use 4 types of reactors, one of them, a high-temperature gas-cooled reactor (HTGR), is described in more detail in the article. The construction material, fuel, coolant and its characteristics are given.

The peculiarities of VTGR, which provide advantages over other types of reactors, are considered.

**Keywords:** High-temperature reactors;efficiency; advantagesof HTGR;coolant;

В даний час ядерна електроенергетика базується в основному на двох типах енергетичних реакторів: реакторах з водою під тиском та киплячих реакторах. Поряд з удосконаленням цих реакторів в усіх ведучих країнах розробляються реактори інших типів. Таких типів реакторів практично теж два. Це реактори на швидких нейтронах та високотемпературні реактори з газовим охолодженням (ВТГР). Розглядання багато численних варіантів розвитку ядерної енергетики, яке основане на аналізі можливостейреакторів різного типу, підтверджує, що до 2025 - 2030 років частка високотемпературних реакторів повинна значно зрости, а їх потужність складе, за даними різних авторів, 20-25% потужності всіх АЕС [1,2]. Таке значне місце високотемпературних реакторів в ядерній енергетиці зумовлене їх специфічними особливостями та високими енергетичними характеристиками.

Дійсно, в таких реакторах в якості сповільнювача та конструкційного матеріалу активної зони застосовується виключно графіт, що забезпечує хороше використання нейтронів, а в якості ядерного палива – мікрочастинки карбіду, двоокису урану (або торію) з багатошаровими покриттями, що дозволяє досягнути дуже високих ступенів вигорання ядерного палива – до 105 МВт\*діб/тону при температурі горючого до 1300оС [1].

Інертний гелієвий теплоносій при тиску 5.0-6.0 МПа та температурі на виході 900-1300оС забезпечує високий ККД паротурбінної установки, а ефективне утримання твелами продуктів розподілу - невисоку наведену активність можливість підвищення температури гелію. Ці переваги створюють реальні передумови для використання таких реакторів у сполученні з газовими турбінами, а в майбутньому – з магнітогідродинамічними-установками. Високотемпературні реактори характеризуються найбільш сприятливими умовами для використання уран – торієвого циклу, що підвищує коефіцієнт відтворення пального і розширює паливні ресурси ядерної енергетики. Поряд з цим, теплотехнічними енергетичними характеристиками вони вигідно відрізняються невеликими питомими потребами в природному урані і серед реакторів на теплових нейтронах незначно уступають в цьому показнику тільки важководним реакторам.

Такі широковідомі реактори як легководні, важководні, з газових охолодженням на природному урані і так звані удосконалені реактори з газовим охолодженням (Advanced Gas-cooler Reactor або AGR) можна віднести до реакторів першого та другого покоління. З них найбільш економічними являються легководні реактори.

Незважаючи на відомий успіх АЕС з реакторами першого та другого покоління,тільки третє та четверте покоління може ці досягнення розвити далі і забезпечити майбутнє ядерної енергетики.

АЕС першого та другого покоління відрізняються відносно великим споживаннямприродного урану, і в першу чергу це відноситься до легко водних реакторів та реакторів типу AGR, робота яких більше інших залежить від запасів урану.

Таким чином, одна з головних задач, що стоять перед реакторами четвертогопокоління, зниження споживання урану і краще використання пального, що досягається економією нейтронів. Тим самим, збільшується вигоряння і забезпечується можливість завантаження в активну зону більшої кількості так називаного відтворюючого матеріалу, що практично не поділяється, але може перетвориться в речовину, що поділяється, при захопленні нейтрона.

Якщо в реакторі при розподілі одного ядра в середньому утвориться більш одного нового ядра, що поділяється, то такий реактор називають розмножником. Якщо ж число нових ядер, що поділяються, менше одиниці, то говорять про реактор-конвертор. Одна з головних переваг реакторів наступних поколінь полягає в тому, що вони є гарними конверторами або розмножниками й у перспективі дозволять істотно поліпшити постачання електроенергією і знизити вартість палива.

Підвищення КПД установок і температурного перепаду також приводить до зниженнявартості електроенергії, а в реакторах з газовим охолодженням можливо досягти більш високих температур безпосередньо на виході з активної зони, ніж у реакторах з рідинними теплоносіями.

Але головною перевагою високотемпературних газоохолоджуваних ядернихреакторів є їх спроможність, завдяки високій температурі теплоносія на виході, енергетично забезпечувати технологічні процеси в хімічній, металургійній,нафтопереробній галузях; здійснювати конверсію газового та твердого органічного палива.

**Переваги ВТГР в порівнянні з іншими типами реакторів**

До особливостей ВТГР як об’єктів регулювання слід віднести, насамперед, негативнийтемпературний коефіцієнт реактивності та однофазний стан теплоносія. Зазначимо також,що ВТГР має велику теплоємність активної зони, що дає деяку свободу при виборі характеристик регулюючих пристроїв. Потенційні потреби в потужностях АЕС з ВТГР можна оцінити, виходячи із загального балансу ресурсу первинних енергоджерел та їх витрати в чотирьох великих секторах, до яких відносяться електроенергетика, промисловість, транспорт, централізоване теплопостачання. У промисловості залежно від конкретного технологічного процесу температура споживаної теплової енергії становить від 150-200 до 1000 °С і вище. Теплоспоживання в області з температурою вище 500 °C, що може бути забезпечене за рахунок теплової енергії ВТГР, становить -15% загального теплоспоживання у промисловості, або ~5% у загальному балансі, якщо мати на увазі витіснення енергоджерел на обмеженому паливі з промислової сфери. До такої сфери відносяться, зокрема, нафтовидобуток, нафтопереробка, хімічна промисловість, виробництво органічних добрив та ін.

Велика частка енергоспоживання посідає транспортні засоби. Організація

великомасштабного виробництва синтетичного палива, у тому числі водню за допомогоюВТГР та впровадження в народне господарство ефективної технології його використання в енергетиці та на транспорті можуть істотно збільшити частку ВТГР у загальному енергобалансі. Використання водню у чорній металургії для прямого відновлення руди та інших цілей сприятиме подальшому підвищенню частки ВТГР. Екологічні наслідки таких змін у металургії очевидні. Заміна органічного палива водневим в авіації, автомобільному транспорті матиме ще більшу екологічну значущість. особливо для міст. У найближчій перспективі можливості заміщення органічного палива тепловою енергією ВТГР можуть скласти близько 20% у загальному балансі його споживання у зазначених сферах промисловості та на транспорті, що відповідає потребам у загальній тепловій потужності 200-250 МВт. ВТГР мають широкі можливості не тільки через високий ККД при виробництві електроенергії в газотурбінному циклі, а також з урахуванням забезпечення

ними централізованого теплопостачання, шляхом ефективного використання скидної

теплової енергії. Роль ВТГР в атомній енергетиці ґрунтується на наступних властивостях цієї технології:

- вироблення високотемпературної теплової енергії дозволяє:

• реалізувати ефективні термодинамічні цикли виробництва електроенергії (цикл

Брайтона, паровий цикл із критичними параметрами);

• забезпечити тепловою енергією різні технологічні процеси в промисловості;

• виробляти водень із води;

- Внутрішньо властива безпека дозволяє розміщувати ВТГР у безпосередній

близькості від промислових виробництв, що дозволяє розміщення промислових

виробництв, що виключає неприпустимі втрати температурного потенціалу

теплоносія у системі транспорту теплової енергії між реактором та споживачем;

- гнучкий паливний цикл, що виключає залежність від вила палива, що

використовується:

- мінімальна кількість систем безпеки створює передумови для зниження

капітальних та експлуатаційних витрат, скорочення термінів будівництва та

окупних витрат;

- глибоке вигоряння палива дозволяє здійснювати збереження вивантаженого з

реактора палива без додаткової переробки;

- генерація електроенергії з високим ККД та замішання органічного палива у сферінеелектричного» застосування.

**Список літератури**

1. Гребенник В. Н., Кухаркин Н. Е., Пономарев-Степной Н. Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы – инновационное направление развития атомной енергетики. – Москва, Энергоатомиздат, 2008. -136 с.
2. Бедениг Д. Газоохлаждаемые высокотемпературные реакторы / Пер.с нем. Гурьева.
- М.: Атомиздат, 1975. – 223 с.
3. Дубковский В. А. Рациональные процессы, циклы и схемы энергоустановок – Одесса. Наука и техника, 2003. – 224 с.
4. Дубковский В. А. Энерготехнологическое использование нетрадиционных и атомных энергоустановок. Дисс. на соискание уч. степ. докт. техн. наук, 1998. - 336 с.