

Секція Енергетика та енергозбереження

Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки згідно з Законом України

3.3.Енергетика та енергоефективність

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

за завершеною науково-дослідною роботою за 2010-2012 роки

(Характер НДР: **фундаментальне дослідження**)

- 1. Тема НДР:** Вивчення можливості навантаження енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 до 110 % від номіналу з метою визначення моменту граничного стану захисних бар'єрів безпеки
- 2. Керівник НДР:** Маслов Олег Вікторович, д-р техн. наук, доцент.
- 3. Номер державної реєстрації НДР:** 0109U008453
- 4. Номер облікової картки заключного звіту:**
- 5. Назва вищого навчального закладу, наукової установи:** Одеський національний політехнічний університет
- 6. Терміни виконання:** початок - 02.01.2010 р, закінчення - 31.12.2012 р.
- 7. Обсяг коштів, виділених на виконання НДР за весь період (згідно з запитом/ фактичний) 295,0 / 290,8** тис. гривень.
- 8. Короткий зміст запиту:**

Предмет дослідження — моделі і методи визначення оптимального співвідношення безпеки, надійності та економічної ефективності експлуатації АЕС з ВВЕР-1000 в залежності від стану бар'єрів безпеки на підставі визначення моменту і умов виникнення граничного стану фізичних бар'єрів безпеки при роботі реакторної установки в режимах підвищеної до 110 % потужності при нормальних експлуатаційних умовах, в тому числі, в режимах циклічної зміни потужності ЯЕУ.

Об'єкт дослідження — елементи активної зони енергетичного ядерного реактора в режимах підвищеної до 110 % потужності при нормальних експлуатаційних умовах в тому числі, в режимах циклічної зміни потужності ЯЕУ.

Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації АЕС з ВВЕР і наукове обґрунтування методів розрахункового та експериментального аналізу термомеханічної поведінки твелів, ТВЗ і корпусу реактора, пов'язаних з експлуатацією реакторної установки в режимах підвищеної до 110 % потужності при нормальних експлуатаційних умовах, в тому числі, в режимах циклічної зміни потужності ЯЕУ, з метою підвищення ефективності використання ядерного палива, ядерної та радіаційної безпеки експлуатації АЕС, підвищення експлуатаційного ресурсу оболонки твелів і корпусу реактора.

Загальна фундаментальна проблема, на вирішення якої спрямовано дослідження, знаходиться в площині відсутності кількісної оцінки поведінки елементів активної зони ядерного реактора для запропонованих варіантів реалізації підвищення потужності реакторної установки. Крім того, є суттєве протиріччя, яке полягає в мінімізації використання консервативного підходу при аналізі АкЗ в цілому, але при цьому посилюється консервативний підхід до аналізу цілісності фізичних бар'єрів безпеки, і в першу чергу, паливної матриці і оболонки твелів. Це, зокрема пояснює парадокс який полягає в тому, що збільшення потужності може приводити до зменшення середньої глибини вигорання ядерного палива в цілому. Тобто, економічна ефективність енергоблоку може навіть зменшуватися. Причина такої неефективної експлуатації ядерного палива в умовах підвищеної потужності пояснюється відсутністю методології кількісної оцінки і чисельного прогнозу стану фізичних бар'єрів безпеки, відсутністю знання про механізм залежності стану бар'єрів безпеки, включаючи їхній граничний стан, від режимів експлуатації. Тобто існує проблема адаптації ЯЕУ з ВВЕР-1000 до роботи в умовах підвищеної до 110 % потужності

при нормальних експлуатаційних умовах в тому числі, в режимах циклічної зміни потужності ЯЕУ.

Конкретна фундаментальна задача в рамках загальної проблеми, вирішення якої передбачається в проекті, полягає в визначенні моменту і умов виникнення граничного стану фізичних бар'єрів безпеки дозволяє знайти умови оптимальності балансу безпеки, надійності та економічної ефективності роботи реактора в режимі підвищеної потужності.

9. Опис процесу наукового дослідження:

Основа наукового дослідження полягає, по-перше, в синтезі нових та в подальшому розвитку розроблених авторами раніше математичних моделей поведінки бар'єрів безпеки з використанням методу кінцевих елементів для загального розв'язання рівняння теплопровідності та механічної деформації компонентів ядерного палива, енергетичного варіанту теорії повзучості і двоточкової моделі реактору, це дозволило врахувати вплив режимів експлуатації реактору та вплив положення і амплітуди переміщення стрижня регулювання, на зміну властивостей оболонки твела; по-друге, в введенні нових, критеріїв оцінки ефективності експлуатації енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000 від режиму експлуатації на 110 % потужності від номінального значення.

В свою чергу зазначені моделі та критерії дозволи знайти основні чинники, що визначають пошкодження твела а також розробити методи управління конструкційними параметрами твела, температурним режимом теплоносія і перестановками паливних збірок. Моделювання перестановок ТВЗ, дозволило врахувати реальні умови експлуатації оболонки твела; статистичні методи аналізу, дозволили врахувати недостовірність знання умов експлуатації оболонки твела; системний аналіз, дозволив синтезувати метод комплексного управління властивостями оболонок твелів реактора. Крім того найшли подальший розвиток нові методи визначення стану бар'єрів безпеки.

Розроблені при виконанні НДР моделі та методи визначення стану бар'єрів безпеки дозволяють повною мірою використати резерв підвищення теплової потужності енергоблоку за рахунок оптимізації граничного значення лінійного енерговиділення твелів по висоті активної зони шляхом управління перестановками ТВЗ з метою створення паливних завантажень з низьким коефіцієнтом нерівномірності, зменшення "консерватизму" в коефіцієнтах, які впливають на точність розрахунку та визначення потужності реактора, впровадження нових методів технологічного контролю та реалізації програми потужності реакторної установки з врахуванням того факту, що при вигорянні ядерного палива коефіцієнт об'ємної нерівномірності енерговиділення має тенденцію до зменшення.

В свою чергу зазначені моделі та критерії дали змогу розробити нову програму регулювання потужності реакторної установки, яка дозволяє забезпечити максимальну ефективність експлуатації РУ з ВВЕР-1000 на 110 % потужності від номінального значення при існуючих регламентних показниках надійності та безпеки.

Найважливіші результати етапів відповідно до технічного завдання наведені у таблиці.

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1.	Розробити модель залежності стану фізичних бар'єрів безпеки, включаючи їхній граничний стан, від режимів експлуатації. Розробити імітаційну модель надійності	Модель залежності стану фізичних бар'єрів від режимів експлуатації	Розвинуто моделі та методи, які визначають механізми залежності стану бар'єрів безпеки від тривалості і режиму роботи реакторної установки при підвищеній потужності. Розроблено новий комплексний критерій визначення

	<p>фізичних бар'єрів безпеки, яка враховує циклічність навантаження ТВЗ, корпусу реактора і основного енергетичного обладнання ВВЕР-1000. Розробити модель ЯЕУ, яка враховує зміну потужності до 110 %.</p>		<p>ефективності експлуатації енергоблоку, який врахує стан безпеки, надійності та економічну ефективність експлуатації ВВЕР-1000 в режимі підвищеної потужності. Розвинуто модель визначення надійності твела за умов досягнення граничного стану «газова нещільність» і граничного стану «контакт палива з теплоносієм» в режимі підвищеної потужності. Розвинуто модель ЯЕУ, яка враховує зміну потужності до 110 % і проведено аналіз можливих алгоритмів керування полем енерговиділення в ТВЗ та АКЗ в цілому; розроблено алгоритми, які базуються на збереженні аксіального офсету енерговиділення та на збереженні стану реактора і блока в цілому в межах режимних параметрів, які забезпечують максимальний рівень економічної ефективності, який визначається величиною критерію ефективності.</p>
2.	<p>Розробити алгоритми оптимального навантаження ЯЕУ при підтримці балансу потужності в енергосистемі. Дослідити циклічні процеси, що протікають у обладнанні ВВЕР-1000, проаналізувати системи і методи керування ядерним реактором у різних режимах експлуатації. Дослідити вплив циклічності зміни потужності ЯЕУ на ефективність і надійність експлуатації.</p>	<p>Оптимальні алгоритми керування циклічним навантаженням ЯЕУ, які базуються на збереженні заданого рівня надійності і безпеки енергетичного обладнання.</p>	<p>Вперше проведені дослідження роботи ЯЕУ в режимах багатократних циклічних змін потужності та в режимах роботи реакторної установки при підвищеній потужності, які встановили кількісний зв'язок накопиченої енергії незворотних деформацій повзучості матеріалів паливної оболонки з режимами її експлуатації. Проведено розрахункове дослідження деформаційної поведінки ядерного палива при циклічних навантаженнях, при режимах роботи реакторної установки при підвищеній потужності. Запропоновано і обґрунтовано метод</p>

	<p>виробництва енергії і маневрену ефективність випалювання ядерного палива.</p> <p>Оптимальні алгоритми керування циклічним навантаженням ЯЕУ, які базуються на збереженні заданого рівня надійності і безпеки енергетичного обладнання.</p>		<p>регулювання потужності РУ який передбачає аналіз впливу на стан твелів в режимі підтримки балансу потужності в енергосистемі аксіального розподілу ушкодження оболонки, алгоритму перестановок ТВЗ у активній зоні на протязі паливної кампанії. Розроблено алгоритми керування навантаженням ЯЕУ і вигорянням палива при підвищеній потужності, що дає можливість підвищення безпеки та економічної ефективності експлуатації АЕС України. Розглянуто алгоритми оптимального керування полем енерговиділення в ТВЗ при процесах зміни потужності</p>
3.	<p>Розробити алгоритми розрахунку з метою керування ресурсом обладнання, яке використовується для збереження бар'єрів безпеки (паливна матриця, оболонка твелу, оболонка корпусу реактора) при його експлуатації на 110 % від номіналу. Розробити метод оцінки стану бар'єрів безпеки за рахунок знань про залишок ресурсу. Розробити наукове обґрунтування можливості використання ЯЕУ з ВВЕР-1000 для підтримки балансу навантаження в енергосистемі.</p>	<p>Метод кількісної оцінки показників надійності бар'єрів безпеки. Алгоритми керування залишковим ресурсом обладнання.</p>	<p>Запропоновано розвиток методу визначення показників надійності бар'єрів безпеки з використанням енергетичного варіанту теорії повзучості. Вперше розроблена модель розрахункових параметрів нормальної експлуатації РУ, яка відрізняється врахуванням інтервалів невизначеності основних чинників, що визначають контрольовані параметри, це дало можливість врахувати невизначеність в знанні умов експлуатації оболонки при використанні критерійної моделі параметричного аналізу на основі принципу мінімально достатнього консерватизму. Розвинуто нові методи визначення стану бар'єрів безпеки та технологічного контролю, які є важливою складовою обґрунтування можливості роботи ЯЕУ при підвищеній потужності. Розроблена критерійна модель аналізу ефективності управління</p>

			властивостями ядерного палива, що відрізняється мінімізацією кількості контрольованих параметрів і варійованих детермінуючих чинників, що дало можливість запропонувати методи та алгоритми керування властивостями бар'єрів безпеки на основі обліку обмежуючих умов до безпеки і ефективності експлуатації ЯЕУ.
--	--	--	---

10. Наукова новизна та значимість отриманих наукових.

Наукова новизна полягає в синтезі нових та в подальшому розвитку розроблених авторами раніше моделей кількісної оцінки залежності поведінки та стану бар'єрів безпеки від режиму експлуатації на 110 % потужності від номінального значення.

Отримав подальший розвиток метод аналізу довговічності оболонки твела реактора ВВЕР-1000 на основі енергетичного варіанту теорії повзучості (ЕВТП), який дозволяє разом використовувати всі відомі критерії міцності оболонки твела в рамках однієї розрахункової моделі врахувати вплив режимів експлуатації реактору та вплив положення і амплітуди переміщення стрижня регулювання, на зміну властивостей оболонки твела.

Вперше на основі ЕВТП-методу встановлені чинники, які визначають імовірність пошкодження ядерного палива в нормальних умовах експлуатації реактора, знайдено аксіальний сегмент твела, який обмежує його довговічність, що дозволило знайти основні методи управління властивостями твелів для режимів нормальної експлуатації РУ, що відрізняються обліком імовірності пошкодження оболонки, а також балансом безпеки і ефективності експлуатації.

Вперше на основі ЕВТП-методу розроблена критерійна модель аналізу ефективності управління властивостями твелів, що відрізняється мінімізацією кількості контрольованих параметрів і варійованих детермінуючих чинників, а також визначенням переваги однієї сукупності чинників над іншою на основі принципу адитивності, що дало можливість запропонувати методи управління властивостями твела на основі обліку обмежуючих умов одночасно до безпеки і ефективності експлуатації палива.

Удосконалено з урахуванням роботи ЯЕУ на підвищеній потужності розроблений авторами раніше метод аналізу ефективності перестановок ТВЗ в АКЗ, що відрізняється наявністю декількох рівнів аналізу - елементарного (цілісність оболонок твелів), структурного (картограма завантаження активної зони), економічного (глибина вигорання) і імовірнісного (надійність обладнання), заснованого на приведених параметрах пошкодження матеріалу оболонки твела і глибини вигорання. Вперше розроблено метод аналізу і оптимізації паливної кампанії з урахуванням експлуатації ядерного палива в режимах підвищеного вигорання при роботі ЯЕУ на підвищеній потужності.

Розроблено наукові засади розробки та обґрунтування комплексних критеріїв ефективності експлуатації різних структурних елементів та режимів роботи атомної електростанції (ядерне паливо, АКЗ, РУ, ЯЕУ).

11. Відповідність отриманих наукових результатів сучасному рівню досліджень в даній галузі.

Підвищення потужності енергоблоків АЕС загальноприйнята світова практика в умовах відсутності інвестиційних коштів. У США більше ніж 100 енергоблоків працюють на потужності що перевищує номінальну проектну потужність від 2 % до 20 %. В Росії також

розпочато роботи з планового підвищення потужності енергоблоків з ВВЕР спочатку до 104 % з перспективою підвищення до 110 %. При цьому зазначається відсутність обґрунтування динамічної стійкості деяких перехідних режимів експлуатації існуючими програмно-технічними засобами.

При виконанні НДР вперше на основі ЭВП-методу і запропонованого критерію ефективності розроблено метод управління температурним режимом теплоносія реактора при підвищенні потужності до 110 %, що відрізняється врахуванням імовірності пошкодження палива і стабільності нейтронного поля в АКЗ, що дало можливість запропонувати програму зміни потужності ВВЭР-1000 з постійною вхідною температурою теплоносія, на що характеризується високою стабільністю аксіального офсету енерговиділення при низькому значенні імовірності пошкодження палива, яка не має аналогів в світі. Крім того, запропонований метод регулювання потужності РУ в режимі підтримки балансу потужності в енергосистем вперше в світовій практиці враховує аксіальний розподіл параметра ушкодження матеріалу оболонки на підставі аналізу перестановок ТВЗ у активній зоні на протязі паливної кампанії, та дозволяє оптимізувати алгоритм перестановок ТВЗ.

Крім того аналіз пропонує в світовій практиці варіантів реалізації підвищення потужності реакторної установки виявив дуже суттєве протиріччя, яке полягає в мінімізації використання консервативного підходу при аналізі АКЗ в цілому, але при цьому посилюється консервативний підхід до аналізу цілісності фізичних бар'єрів безпеки, і в першу чергу, паливної матриці і оболонки твелів. Це, зокрема пояснює парадокс який полягає в тому, що збільшення потужності приводить до зменшення середньої глибини вигорання ядерного палива в цілому. Тобто, економічна ефективність енергоблоку може навіть зменшуватися. На відміну від зазначеного, в результаті виконання дослідження вперше розроблено метод управління перестановками ТВЗ в АКЗ реактора, що відрізняється обліком обмежуючих вимог до безпеки і ефективності експлуатації твела, що дало можливість запропонувати алгоритми перестановок ТВЗ в АКЗ ВВЭР-1000, який характеризуються імовірності пошкодження палива при максимальній рівномірності і максимальних значеннях вигорання ядерного палива, в тому числі для різних стратегій паливної кампанії.

Таким чином, отримані результати в повній мірі відповідають сучасному світовому рівню.

12. Практична цінність результатів НДР.

Інвестиційна привабливість запропонованих рішень визначається тим фактом, що приведена вартість одного кВт встановленою потужності, отриманого за рахунок роботи ЯЕУ при підвищенні потужності до 110 % від номіналу менша у 3-5 разів, ніж приведена вартість одного кВт встановленою потужності отриманого за рахунок будівництва нових енергоблоків. Це важливо з урахуванням того, що отримані під час виконання дослідження результати дають змогу забезпечити роботу ЯЕУ в режимі підтримки балансу потужності в енергосистемі, що дає можливість підвищити якість електричної енергії в об'єднаній енергосистемі України і збільшити експорт електричної енергії до країн Європи.

Розроблені нові методи визначення стану бар'єрів безпеки та технологічного контролю, які є важливою складовою обґрунтування можливості роботи ЯЕУ при підвищеній потужності, крім того можуть знайти застосування при теперішніх режимах експлуатації з метою підвищення рівня безпеки експлуатації, за рахунок впровадження інструментального контролю стану захисних бар'єрів, який зараз відсутній. Також можливо застосування запропонованих рішень для аналізу стану елементів ЯЕУ при проведенні робіт з продовження ресурсу енергоблоків.

Розроблений метод аналізу довговічності оболонки твела на основі енергетичного варіанту теорії повзучості дозволяє обґрунтувати зниження у декілька разів консерватизму

оцінки умов руйнування оболонки твела в нормальних умовах експлуатації реактора, розширити межі безпечної експлуатації реактора і підвищити її економічну ефективність.

Крім того оптимізація паливних завантажень на підставі розробленого критерію забезпечує підвищення ефективності використання ядерного палива, дозволяє скоротити витрати на свіже паливо і, відповідно, на поводження з відпрацьованим ядерним паливом, зменшити кількість високоактивних радіоактивних відходів на одиницю виробленою електроенергії та теплове забруднення навколишнього середовища.

Розроблені технічні рішення придатні до впровадження на АЕС України.

Можливо патентування інших основних технічних рішень як в Україні, так і за кордоном.

13. Використання результатів у навчальному процесі.

Отримані результати використовуються при підготовці нових лекційних курсів та циклів лабораторних робіт за дисциплінами «Надійність та ядерна безпека АЕС», «Фізика ядерних реакторів», «Динаміка процесів ЯЕУ» для спеціалістів та магістрів за фахом «атомна енергетика», «Автоматизоване управління технологічними процесами». При вдосконаленні лекційних курсів та оновленні лабораторних робіт за дисциплінами «Експлуатація АЕС», «Нестационарні процеси та регулювання ЯЕР», «Перевантаження ядерного палива» для спеціалістів та магістрів вищезазначених спеціальностей. Розроблено курс лекцій, практичні та лабораторні роботи та з нової дисциплінами «Фізика ядерно-фізичних процесів». При підготовці нових лекційних курсів для слухачів курсів підвищення кваліфікації у Центрі післядипломної освіти.

14. Результативність виконання науково-дослідної роботи

№ з/п	Критерії	<u>Заплановано</u>	<u>Виконано</u>	<u>%</u>
		(відповідно до запиту)	(за результатами НДР)	<u>виконання</u>
		кількість	кількість	%
1.	Публікації колективу виконавців НДР:			
	1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних.	7	7	100
	1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних.	5	5	100
	1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України.	21	21	100
	1.4. Публікації у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.	5	5	100
	1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ (наукової установи).	3	3	100
	1.6. Підручники, навчальні посібники з грифом МОНмолодьспорт України (МОН України).	—	—	—
	1.7. Навчальні посібники без грифу МОНмолодьспорт України (МОН України).	—	—	—

	1.8. Словники, довідники.			
2.	Підготовка наукових кадрів: 2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.2. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	— 1 1 2 1	— 1 1 2 1	— 100 100 100 1
3.	Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності, які створено за тематикою НДР: 3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України. 3.2. Подано заявок на отримання патенту України. 3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав. 3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	2 — — 1	2 — — 1	100 — — 100
4.	Участь з оплатою у виконанні НДР: 4.1. Студентів. 4.2. Молодих учених та аспірантів.	1 2	1 2	100 100

15. Бібліографічний перелік монографій, підручників, посібників, словників, довідників, наукових статей, інших публікацій; подані заявки та отримані патенти; теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій

За тематикою проекту захищена кандидатська дисертація

– Баскаков В.Е. Компромиссно-комбинированный метод регулирования мощности РУ с ВВЭР-1000 (В-320) в переменном режиме нагружения: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.14 / Баскаков Владимир Евгеньевич. – Одесса, 2010.

За тематикою проекту подана до розгляду у спеціалізовану вчену раду докторська дисертація

– Пельх С.Н. Усовершенствование энергетического варианта теории ползучести для управления свойствами твэлов легководного реактора в нормальных условиях эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.14

За тематикою проекту подана до розгляду у спеціалізовану вчену раду дві кандидатські дисертації

– Цисельська Т.О. Удосконалення автоматизованої системи керування потужністю енергоблоку АЕС для експлуатації у маневрених режимах добового циклу: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07

– Максимова О.Б. Удосконалення інформаційного та математичного забезпечення для автоматизованого керування системою теплопостачання зі змінною структурою: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07

За тематикою проекту видані нижчезазначені монографії та розділи у монографії:

– Сузуки М. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения / пер. с англ. С.Н. Пельих; под ред. М.В. Максимова. – Одесса: Астропринт, 2010. – 248 с.

– Королев А.В. Анализ и моделирование теплоэнергетического оборудования, работающего с двухфазными течениями / А.В. Королев; под ред. М.В. Максимова. – Одесса: Астропринт, 2010. – 456 с.

– Pelykh S.N., Maksimov M.V. Chapter 10. Theory of fuel life control methods at Nuclear Power Plants (NPP) with Water-Water Energetic Reactor (WWER), pp. 197–230 – in the book: Nuclear Reactors / Edited by: A. Z. Mesquita, ISBN 978-953-51-0018-8, InTech, 2012. – 338 p.

За тематикою проекту опубліковані нижчезазначені наукові статті та отримано патенти:

1. Пелих С.М. Порівняння ефективності алгоритмів маневру потужністю ВВЕР-1000 // Наукові вісті НТУУ "КПІ".— 2010. — № 5 (73). — С. 10—15.

2. Пелих С.М. Метод оцінки міцності оболонки твела ВВЕР-1000 на основі енергетичного варіанту теорії повзучості // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості.— 2010. — Вип. 3 (35). — С. 40—46.

3. Максимов М.В. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения/ М.В. Максимов, С.Н. Пельих, Р.Л. Гонтарь, Т.В. Цисельская // Сборник научных трудов Севастопольского национального университета ядерной энергии и промышленности. — 2010. — Вып. 4(36). — С. 50—58.

4. Пелих С.М. Математична модель зміни властивостей оболонки твела ВВЕР-1000 в змінному режимі навантаження // Ядерна фізика та енергетика. — 2010. — Т. 11, № 3 — С. 275—279.

5. Максимов М.В. Метод оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла ВВЭР-1000 в различных режимах нагружения / М.В. Максимов, С.Н. Пельих, О.В. Маслов, В.Е. Баскаков // Атомная энергия. — 2010. — Т. 108, Вып. 5. — С. 294—299.

6. Pelykh S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode / S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Proc. of the 3-rd int. conf. “Current problems of nuclear physics and atomic energy”. — К.: Institute for Nuclear Research, 2010. — P. 505—508.

7. Максимов М.В. Способ стабилизации аксиального распределения нейтронного поля при маневрировании мощностью ВВЭР-1000 / М.В. Максимов, С.Н. Пельих, Т.А. Цисельская, В.Е. Баскаков // Ядерная и радиационная безопасность. — 2011. — № 1 (49). — С. 27—32.

8. Максимов М.В. Способы управления ресурсом оболочек твэлов / М.В. Максимов, С.Н. Пельих, А.А. Назаренко, Т.А. Цисельская // Сб. науч. тр. Севастопольского нац. ун-та ядерн. энергии и пром. — 2011. — Вып. 2 (38). — С. 52—62.

9. Максимов М.В. Управление свойствами ядерного топлива в переменном режиме нагружения легководного реактора / М.В. Максимов, С.Н. Пельих, Р.Л. Гонтарь // Сб. науч. тр. Севастопольского нац. ун-та ядерн. энергии и пром. — 2011. — Вып. 4 (40). — С. 34—40.

10. Пелих С.Н. Анализ устойчивости активной зоны ядерного реактора ВВЭР-1000 при различных программах регулирования реакторной установки / С.Н. Пелих, А.А. Назаренко, Т.А. Цисельская // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2011. — Вып. 2 (36). — С. 109—114.

11. Pelykh S.N. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WWER-1000 nuclear unit / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Nuclear Engineering and Design. — 2011. — Vol. 241, № 8. — P. 2956—2963.
12. Максимов М.В. Оценка аксиального распределения параметра повреждения оболочки твэла ВВЭР-1000 при суточном маневрировании / М.В. Максимов, С.Н. Пелых, О.В. Маслов, В.Е. Баскаков // Известия вузов. Ядерная энергетика. — 2011. — № 2. — С. 162—170.
13. Pelykh S.N. Estimation of local linear heat rate jump values in the variable loading mode/ S. N. Pelykh, R. L. Gontar, T.V. Tsiselskaya // Nuclear Physics and Atomic Energy. — 2011. — Vol. 12, № 3. — P. 242—245.
14. Пелых С.Н. Принципы управления долговечностью оболочек твэлов в переменном режиме ВВЭР-1000/ С.Н. Пелых, М.В. Максимов, Р.Л. Гонтарь, Т.А. Цисельская // Сб. тезисов 7-й межд. научно-техн. конф. “Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР”. — Подольск: ОКБ “Гидропресс”, 2011. — С. 59.
15. Маслов О.В. Техничко-экономические задачи эффективного контроля безопасности АЭС./ О.В. Маслов, В.А. Мокрицкий // Экономист. — 2011. — № 8. — С. 70—74.
16. Максимов М.В. Основы управления ресурсом оболочки твэла в переменном режиме нагружения ВВЭР-1000 / М.В. Максимов, С.Н. Пелых, Р.Л. Гонтарь // Атомная энергия. — 2012. — Т. 112, вып. 4. — С. 199—206.
17. Методы управления ресурсом оболочек твэлов легководных реакторов / С.Н. Пелых, О.Б. Максимова, Р.Л. Гонтарь, Т.А. Цисельская // Сб. мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию каф. «Атомная энергетика» Урал. фед. ун-та 6-8 окт. 2011 г. “Энергетика XXI века. Техника, экономика и подготовка кадров. Ч. 1”. — Екатеринбург: Урал. фед. ун-т им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2011. — С. 54—57.
18. Pelykh S.N. VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup / S.N. Pelykh, M.V. Maksimov // Proc. of the 4-th int. conf. “Current Problems in Nuclear Physics and Atomic Energy”. Book of Abstracts. — K.: Institute for Nuclear Research, 3—7 September 2012. — P. 122—123.
19. Pelykh S.N. Theory of VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup / S. N. Pelykh, M.V. Maksimov // Proc. of the XX-th Int. Conf. on Physics of Radiation Phenomena and Radiation Material Science. — Alushta: Kharkov Institute of Physics and Technology, 10—15 September 2012. — P. 189—190.
20. Pelykh S.N. A model of fuel rearrangement optimization for a VVER-1000 cycling unit considering reactor power growth up to 110 % / S.N. Pelykh // Odes’kyi Natsional’nyi Politechnichniy Universytet. Pratsi. — 2012. — Вып. 1(38). — С. 112—117.
21. Маслов О.В. Погрешность измерения характеристик полей гамма-излучения детектором на основе CdZnTe / Маслов О.В., Ленков С.В., Банзак О.В., Карпенко О.В. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. — К.: ВІКНУ, 2012. — № 36. — С.183 – 191.
22. Маслов О.В. Исследование увеличения эффективности датчиков гамма-излучения с использованием монокристаллов CdZnTe / Маслов О.В., Банзак О.В., Карпенко А.В. // Вісник інженерної академії України. — 2012. - №1. — С.143 – 145
23. Маслов О.В. Розробка чутливого елементу датчика гамма-опромінення на основі монокристалів CdZnTe/ Маслов О.В., Ленков С.В., Карпенко О.В. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. — 2012. - №27. — С.9 – 13
24. Маслов О.В. Конструкторско-технологические методы усовершенствования датчиков гамма-излучения на основе монокристаллов Cd ZnTe / Маслов О.В., Банзак О.В., Карпенко А.В.// Вісник інженерної академії України. — 2012. - №2. — С.25 – 28.

