

**ISSN 1813-5420 (Print). Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. № 4**

2. Khmel'nitsky NPP. Power unit № 2. The final safety analysis report. Chapter 19. Probabilistic Safety Analysis. Determination alarm sequences (simulation event trees). 43-923.203.024.AV.00. 2005.

3. Khmel'nitsky NPP. Power unit №1. Analysis and development of measures aimed at creating opportunities for backup power supply of critical equipment groups from neighboring units or external sources in a power failure with failure DW. 677.207.002.OT01 43, 2007.

4. Khmel'nitsky NPP. Power unit №2. Safety Analysis Report. Volume 8. Chapter 8: Power supply. Part 3. The emergency power supply. 43 923.203.254.OB.08.03.RED.1.F.

УДК 621.0

**В.І. Коньшин**, канд.техн.наук, доцент; **Р.П. Рибінський**

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»  
РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПО АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЮ  
ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ПОВНОГО ЗНЕСТРУМЛЕННЯ АЕС**

*Наведено варіанти альтернативного електропостачання обладнання при повному знеструмленні АЕС. Проведено розрахунки частот пошкодження активної зони реактора ВВЕР-1000 для основних вихідних подій з урахуванням запропонованих варіантів. Метою цієї роботи є дослідження існуючого дефіциту надійності забезпечення електропостачання основних елементів, що впливають на ризик в умовах повного знеструмлення енергоблоку. В результаті аналізу визначено особливості запропонованих варіантів аварійного підживлення, їх переваги та недоліки в умові аварії з повним знеструмленням енергоблоків АЕС.*

**Ключові слова:** повне знеструмлення енергоблоку, частота пошкоджень активної зони, електропостачання, вихідна подія аварії.

Надійшла 18.12.2014

Received 18.12.2014

УДК 620.93

**О.В. Гайдін**, канд. хім. наук; **В.Г. Іванець**, канд. техн. наук; **В.М. Корякін**, канд. хім. наук  
**ТОВ «НВО «Енергохім»**

**ДО ПИТАННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ СТУПЕНЮ ПОДІЛУ  
КОМПОНЕНТІВ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ПРИ  
ВИКОРИСТАННІ ІОНООБМІННИХ ФІЛЬТРІВ**

*На АЕС України в ємностях тимчасового зберігання рідких радіоактивних відходів (РРВ) накопичений значний об'єм осадів (до 70% заповнення) у вигляді: кубових залишків, відпрацьованих фільтруючих матеріалів та донних відкладень. Існуючим методам переробки РРВ властива низька ефективність та висока вартість технологічного процесу, а кінцеві продукти переробки потребують створення специфічних сховищ. Суттєво зменшити обсяги залишкових твердих радіоактивних відходів (для подальшого захоронення чи тривалого зберігання) можна за допомогою кристалізації очищеного та упареного до насичення розчину РРВ. В маточних розчинах, за рахунок попередньої кристалізації, підвищується співвідношення між радіоактивними та нерадіоактивними компонентами. Радіоактивні розчини після розведення їх дистилатом очищують на катіонообмінних фільтрах, попередньо переведених у  $K^+$ -форму. Така схема процесу призведе до збільшення ступеню поділу компонентів та покращення очищення РРВ від радіоактивних компонентів.*

Однією з головних проблем функціонування АЕС є подовження термінів використання ємностей тимчасового зберігання рідких радіоактивних відходів (РРВ). В них міститься значний об'єм осадів (до 70% заповнення) у вигляді:

- кубових залишків (КЗ), – закристалізовані солі з насиченим розчином над ними;
- відпрацьованих фільтруючих матеріалів (ВФМ) – суміші іонообмінних сорбентів (ІОС) та сорбентів типу активованого вугілля БАУ;
- донних відкладень (ШЛА) – злежаних шламів та/або шламових пульп.

© Гайдін О.В., Іванець В.Г., Корякін В.М., 2014

На АЕС України станом на 31.12.12 було накопичено ( $m^3$ ): кубових залишків – 23828, ВФМ та шламів – 1411, сольового плаву – 7100. Сумарно – більше 33 тисяч  $m^3$  радіоактивних відходів різних ступенів активності. [1]

Існуючі методи переробки РРВ не знаходять широкого застосування через низьку технологічну та економічну ефективність, а також у зв'язку з відсутністю сховищ для кінцевого продукту, який має більший об'єм порівняно з початковими РРВ. Вирішення проблеми полягає у розробці та впровадженні технології для комплексної переробки накопичених в ємностях тимчасового зберігання рідких радіоактивних відходів (КЗ, ВФМ та ШЛА), яка при мінімальних фінансових витратах дозволить суттєво зменшити об'єми твердих радіоактивних відходів (ТРВ), що утворюються в результаті кондиціонування РРВ.

Для очищення низькоактивних розчинів, що містять радіонукліди, автори [2] пропонують використовувати плоскорамний мембранний апарат з тангенціальною подачею розчину і його циркуляцією. Зібрану суспензію концентрату термообробляють у дві стадії. Першу стадію проводять при 120-180°C до досягнення концентрації завислих речовин – 150-300 г/л. Під час другої стадії при температурі 250-300°C досягають залишкової вологості концентрату у 5 мас. %. Сорбційне доочищення фільтрату здійснюють шляхом його пропускання через високоосновну аніонообмінну смолу. Цей метод дозволяє досягти концентрування РРВ у 18200 разів, та питомої активності фільтрату після колонки на рівні 0,5 Бк/л.

При переробці РРВ автори [3] попередньо відстоюють вихідний потік одержуючи надосадову рідину і шлам. Надосадову рідину освітлюють на механічному фільтрі, а фільтрат обробляють іоноселективними сорбентами після глибокого двостадійного знесолення. На першій стадії зворотним осмосом відділяють потоки проміжного концентрату і дезактивованого розчину, при цьому перед відстоюванням рідкі радіоактивні відходи піддають попередньої фільтрації на фільтрах із завантаженням сипрону і гранульованого поліпропілену, які здатні відокремлювати мастила, нафтопродукти і альфа-радіонукліди від РРВ. Після відстоювання надосадову рідину послідовно фільтрують на піщаному і вугільному фільтрах, а фільтрат направляють на глибоке знесолення зворотним осмосом. Після першої стадії дезактивованій розчин обробляють іоноселективними сорбентами з наступним коригуванням рН на вапняковому фільтрі. На другій стадії глибокого знесолення проміжний розчин концентрують зворотним осмосом до показників солевмісту – 100-150 г/л. Концентрат направляють на подальше кондиціонування, а пермеат знову подають на першу стадію глибокого знесолення. Одержаний кінцевий розчин має питому радіоактивність по  $\beta$ -радіонуклідам ( $Sr^{90}$ ) –  $0,7 \cdot 10^1$ , по  $\alpha$ -радіонуклідам ( $Pu^{239}$ ) –  $1,8 \cdot 10^{-1}$ , по  $Cs^{137}$  –  $0,2 \cdot 10^{-1}$  Бк/л. Концентрація зависей – 1 мг/л, ПАР – 0,06 мг/л, нафтопродуктів – 0,03 мг/л.

При переробці мало- і середньомінералізованих низькоактивних рідких відходів автори [4] пропонують проводити передочистку РРВ на механічних і ультрафільтрах з накопиченням попередньо очищених розчинів у проміжній ємності, з наступним очищенням і знесоленням на зворотноосмотичних фільтрах. Поділяючи потоки на виходах зворотноосмотичних фільтрів концентрат повертають в проміжну ємність через реактор, а фільтрат доочищують на іонообмінних фільтрах і очищену воду накопичують в ємності. При цьому контролюють солевміст концентрату і фільтрату на виходах зворотноосмотичного модуля і солевмісту фільтрату на іонообмінних фільтрах. Після розділення потоків, залежно від солевмісту фільтрату на виході зворотноосмотичних фільтрів, фільтрат направляють: при солевмісті менше допустимого значення – на іонообмінні фільтри, при солевмісті більше допустимого значення – в другу проміжну ємність, а при досягненні в першій проміжній ємності достатнього значення солевмісту концентрату РРВ, концентрат направляють на цементування. Допустиме значення для фільтрату зворотноосмотичних фільтрів – солевміст не більше 0,2 г/л. Достатнє значення для концентрату зворотноосмотичного фільтру – солевміст не менше 50 г/л. Контроль солевмісту РРВ на вході зворотноосмотичних фільтрів здійснюють за допомогою кондуктометрів. При досягненні концентрацій РРВ величини 5-10 г/л їх розбавляють фільтратом з виходу зворотноосмотичних фільтрів за відомим співвідношенням.

Слід відзначити, що вищенаведеним методам переробки РРВ властива низька селективність вилучення радіоактивних компонентів та утворення великого обсягу твердих радіоактивних відходів. Також є неможливим виділення чистих цінних нерадіоактивних компонентів.

Суттєво зменшити обсяги залишкових ТРВ (для подальшого захоронення чи тривалого зберігання) можна за допомогою запропонованого нами метода [5], що включає в себе стадію кристалізації попередньо очищеного та упареного (до насичення) розчину РРВ. Одержані кристалічні сполуки після повного видалення маточного розчину мають активність, що не перевищує допустимих рівнів. Ці нерадіоактивні фракції можна переробляти на товарні продукти чи направляти на полігони нерадіоактивних відходів. Радіоактивні маточні розчини після розведення їх дистилатом очищують на катіонообмінних фільтрах, попередньо переведених у  $K^+$ -форму. В маточних розчинах, за рахунок попередньої кристалізації, підвищується співвідношення між радіоактивними (цезієм-135, цезієм-137,

кобальтом-58, кобальтом-60, манганом-54 та іншими полівалентними радіоактивними катіонами) та нерадіоактивними компонентами (калієм, натрієм, літієм, амонієм та іншими нерадіоактивними катіонами). Внаслідок цього збільшується ступінь відділення радіоактивних компонентів на іонообмінних фільтрах, що веде до значного зменшення обсягів залишкових ТРВ, що потребують захоронення або тривалого зберігання. Принципова схема процесу наведена на рисунку 1.

Ми вважаємо, що така схема процесу призведе до збільшення ступеню поділу компонентів та покращення очищення РРВ від радіоактивних компонентів. Це, в свою чергу, дозволить зменшити обсяг залишкових твердих радіоактивних відходів, що будуть направлені на тривале зберігання.

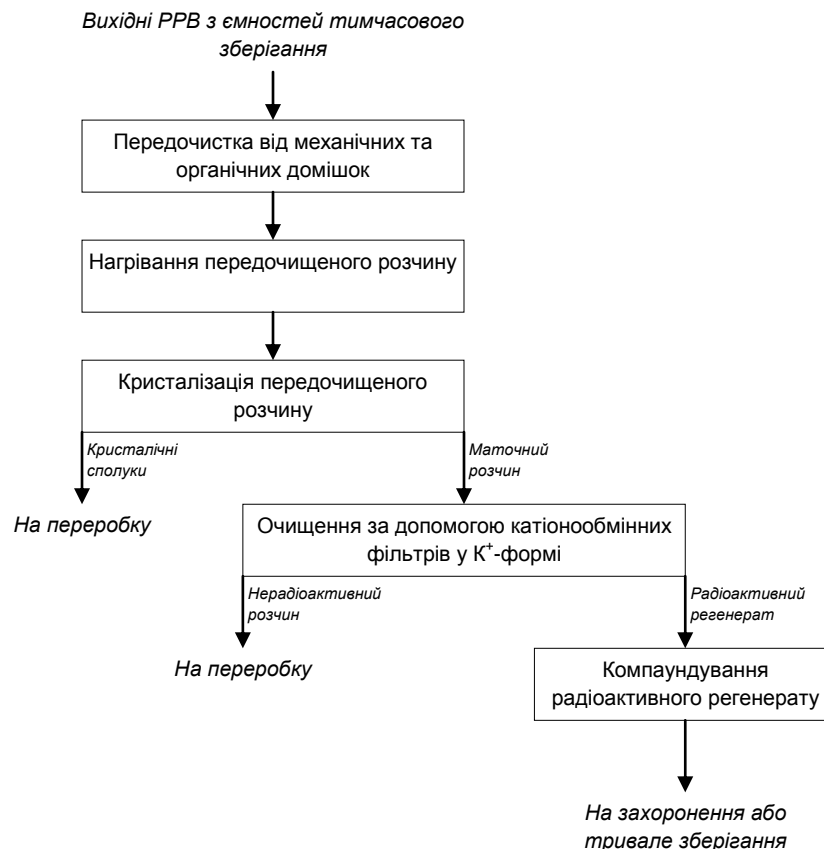


Рис. 1. Принципова технологічна схема процесу очищення РРВ від радіоактивних компонентів.

#### Висновки.

Існуючі методи переробки РРВ характеризуються низькою селективністю вилучення радіоактивних компонентів, призводять до утворення великого обсягу твердих радіоактивних відходів та не дозволяють виділяти цінні нерадіоактивні компоненти у чистому вигляді. Авторами запропонована схема процесу яка забезпечить збільшення ступеню поділу компонентів та покращення очищення РРВ від радіоактивних компонентів, а також дозволить зменшити обсяг залишкових твердих радіоактивних відходів, що будуть направлені на тривале зберігання.

#### Список літератури

1. М.І. Власенко, В.Я. Козлов, В.І. Яцук та ін. Поводження з радіоактивними відходами при експлуатації АЕС ДП НАЕК «Енергоатом». Звіт за 2012 р., Київ, 2013, с. 63.
2. Способ очистки низкоактивных растворов. Патент RU 2301466 C1. МПК G21F9/06 (2006.01). Авторы: Баторшин Г.Ш., Рябов Б.И., Елсуков С.Н., Пристинский Ю.Е., Гужавин В.И., Ровный С.И., Глаголенко Ю.В., Гелис В.М., Милютин В.В.
3. Способ переработки жидких радиоактивных отходов. Патент RU 2342720 C1. МПК G21F9/06 (2006.01). Авторы: Дмитриев С.А., Федоров Д.А., Савкин А.Е., Карлин Ю.В.
4. Способ переработки мало- и среднеминерализованных низкоактивных жидких отходов. Патент RU 2002102107 А. МПК 7 G21F9/06. Авторы: Епимахов В.М., Смирнов В.Д., Олейник М.С., Глушков С.В., Пашенко С.В., Прохоркин С.В., Вилков Н.Я., Ильин В.Г.

5. Спосіб очищення рідких радіоактивних відходів від радіоактивних компонентів. Патент UA 91974 U. МПК (2014.1) G21F 9/00, G21F 9/04, G21F 9/06. Автори: Іванець В.Г., Корякін В.М., Близнюкова Л.В., Гайдін О.В.

**OV Gaidin, VG Ivanets, VM Koriakin  
LTD "RPA "Energohim"**

**ON THE ISSUE OF INCREASING THE DEGREE OF SEPARATION OF THE COMPONENTS  
OF LIQUID RADIOACTIVE WASTES USING THE ION EXCHANGE FILTERS**

*At Ukrainian NPPs in containers for temporary storage of liquid radioactive waste (LRW) accumulated a significant amount of precipitates (70% filling) in the form of: vat residues, exhausted filter materials and sediments. Existing methods of LRW processing has low efficiency, high cost of the process and the final products require the creation of specific repositories. Substantially reduce the amount of residual solid radioactive wastes (for further long-term storage or disposal) can be done by crystallization of purified and saturated solution of LRW. In the mother liquors by preliminary crystallization, increases the ratio between radioactive and non-radioactive components. Then radioactive solutions purifies by cation-exchange filters, pre-translated in  $K^+$ -form. Such a process scheme will increase the degree of separation of the components and will improve cleaning of LRW from radioactive components.*

1. M.I. Vlasenko, V.Ya. Kozlov, V.I. Yatsuk ta in. Povodzhennya z radioaktyvnymy vidkhodamy pry ekspluatatsiyi AES DP NAEK «Enerhoatom». Zvit za 2012 r., Kyiv, 2013, s. 63.

2. Sposob oчитsky nizkoaktivnykh rastvorov. Patent RU 2301466 C1. МПК G21F9/06 (2006.01). Avtory: Batorshyn H.Sh., Ryabov B.Y., Elsukov S.N., Prystinsky Yu.E., Huzhavin V.Y., Rovny S.Y., Glaholenko Yu.V., Helis V.M., Milyutin V.V.

3. Sposob pererabotki zhydkikh radioaktivnykh otkhodov. Patent RU 2342720 C1. МПК G21F9/06 (2006.01). Avtory: Dmitriev S.A., Fedorov D.A., Savkin A.E., Karlin Yu.V.

4. Sposob pererabotki malo- i srednemyneralizovannykh nizkoaktivnykh zhydkikh otkhodov. Patent RU 2002102107 A. МПК 7 G21F9/06. Avtory: Epimakhov V.M., Smirnov V.D., Oleynik M.S., Hlushkov S.V., Pashchenko S.V., Prokhorkin S.V., Vilkov N.Ya., Yl'yn V.H.

5. Sposib ochyshchennya ridkykh radioaktivnykh vidkhodiv vid radioaktivnykh komponentiv. Patent UA 91974 U. МПК (2014.1) G21F 9/00, G21F 9/04, G21F 9/06. Avtory: Ivanets V.G., Koryakin V.M., Blyznyukova L.V., Gaidin O.V.

УДК 620.93

**А.В. Гайдін**, канд. хим. наук; **В.Г. Иванец**, канд. техн. наук, **В.М. Корякин**, канд. хим. наук  
**ООО «НПО «Энергохим»**

**К ВОПРОСУ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЖИДКИХ  
РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИОНООБМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ**

*На АЭС Украины в емкостях временного хранения жидких радиоактивных отходов (ЖРО) накоплен значительный объем осадков (до 70% заполнения) в виде: кубовых остатков, отработанных фильтрующих материалов и донных отложений. Существующим методам переработки ЖРО свойственна низкая эффективность и высокая стоимость технологического процесса, а конечные продукты переработки требуют создания специфических хранилищ. Существенно уменьшит объемы остаточных твердых радиоактивных отходов (для дальнейшего захоронения или длительного хранения) можно с помощью кристаллизации очищенного и упаренного до насыщения раствора ЖРО. В маточных растворах, за счет предварительной кристаллизации, повышается соотношение между радиоактивными и нерадиоактивными компонентами. Радиоактивные растворы после разведения дистиллатом очищают на катионообменных фильтрах, предварительно переведенных в  $K^+$ -форму. Такая схема процесса приведет к увеличению степени разделения компонентов и улучшению очистки ЖРО от радиоактивных компонентов.*

Надійшла 02.12.2014  
Received 02.12.2014