

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2026-1-36-42>

УДК 621.039.73

СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ (СРҚ) СҰЙЫҚ ЕМЕС КҮЙГЕ КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

Ә. Д. Ноқанова^{1*}, О. С. Букина^{1,2}, Ю. Ю. Бакланова¹, Е. Т. Коянбаев¹, В. В. Бакланов¹

¹ ҚР ҰАО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатова, Қазақстан

² «Шәкәрім университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

* Байланыс үшін E-mail: nokanovaamina@nnc.kz

1999 жылы Қазақстан Республикасы Үкіметінің қаулысымен БН-350 реактор қондырғысын (РҚ) пайдаланудан шығару туралы шешім қабылданды. Реакторды пайдаланудан шығару тұжырымдамасы үш негізгі кезеңнен тұрады: бірінші кезеңде реакторды қауіпсіз күйге келтіру, екінші кезеңде ұзақтығы шамамен 50 жыл болатын сақтауды қамтамасыз ету, ал үшінші кезеңде ғимараттар мен құрылыстарды бұзу және нәтижесінде пайда болған радиоактивті қалдықтарды көму көзделген. Пайдаланудан шығару жұмыстарының бірінші кезеңінде пайдаланылған ядролық отынды ұзақ мерзімді сақтауға орналастыру, жылутасымалдағышпен, сұйық және қатты радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеу, сондай-ақ ғимараттар мен құрылыстарды қауіпсіз сақтауға дайындау қарастырылған. Реакторды пайдалану кезеңінде жинақталған сұйық радиоактивті қалдықтар (СРҚ) қазіргі уақытта арнайы сақтау ыдыстарында орналастырылған. Аталған ыдыстардың пайдалану мерзімінің ұзақ болуына және олардың герметикалығының бұзылу тәуекеліне байланысты СРҚ-ны сұйық емес (қатты немесе гель тәріздес) күйге келтірудің тиімді әдістерін әзірлеу өзекті ғылыми-техникалық міндеттердің бірі болып табылады. Мұндай әдістер ықтимал авариялық жағдайларда да радиоактивті заттардың қоршаған ортаға таралуының алдын алуға мүмкіндік береді. СРҚ-ны сұйық емес күйге келтірудің перспективалы тәсілдерінің бірі – сұйық қалдықтарды тиімді оқшаулайтын және радионуклидтердің миграциясын шектейтін сорбциялық материалдарды қолдану болып табылады [1–4].

Осы мақалада сұйық радиоактивті қалдықтарды сұйық емес күйге келтіру мақсатында өндірушілер ұсынатын әртүрлі материалдардың сорбциялық қасиеттерін анықтау әдістемесі қарастырылған. Өнеркәсіптік және тәжірибелік үлгідегі бірқатар сорбенттердің сорбциялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері ұсынылып, СРҚ-ның модельдік ерітінділерімен өзара әрекеттесуі кезінде олардың тиімділігіне баға берілген.

Түйін сөздер: сұйық радиоактивті қалдықтар, құрамы майлы радиоактивті қалдықтар, сорбенттер, сорбциялық сипаттамалары.

КІРІСПЕ

Радиоактивті қалдықтармен (РҚ) жұмыс істеу технологиясының түпкілікті кезеңдері оларды ұзақ мерзімді сақтау немесе көму үдерістерін қамтиды. Бұл радионуклидтерді ұзақ уақыт бойы сенімді түрде оқшаулауды және иондаушы сәулеленудің қоршаған ортаға, адам денсаулығына және экожүйелерге әсерін барынша төмендетуді қамтамасыз ететін материалдар мен технологияларды әзірлеуді талап етеді. Қазіргі таңда сұйық радиоактивті қалдықтарды (СРҚ) қауіпсіз басқару мәселелері ядролық энергетика мен радиациялық қауіпсіздік саласындағы өзекті ғылыми-техникалық міндеттердің бірі болып табылады [5].

Ядролық қондырғыларды пайдалану және оларды пайдаланудан шығару барысында түзілетін СРҚ-ның елеулі бөлігі ұзақ уақыт бойы арнайы сақтау ыдыстарында сақталады. Әдеби деректерде көрсетілгендей, мұндай қалдықтардың негізгі қауіп факторлары олардың химиялық құрамының күрделілігімен, жоғары тұз концентрациясымен, сондай-ақ сақтау мерзімінің ұзаруына байланысты ыдыстардың герметикалығының бұзылу тәуекелімен байланысты. Осы жағдайлар ықтимал авариялық сценарийлер кезінде радиоактивті заттардың қоршаған ортаға таралу қаупін арттырады [6, 7].

БН-350 реактор қондырғысын өнеркәсіптік пайдалану барысында жинақталған сұйық радиоактивті қалдықтар (СРҚ) негізінен сілтілі ерітінділер, полиметилфенилсилоксанды сұйықтық (ПМФС) негізіндегі эмульсиялар, сондай-ақ майлы құрамды сұйықтықтар, суспензиялар мен эмульсиялар (майлы радиоактивті қалдықтар, МРҚ) түрінде ұсынылған. Мұндай қалдықтардың физико-химиялық қасиеттері мен агрегаттық күйінің әртүрлілігі оларды өңдеу және қауіпсіз сақтау технологияларын таңдауды едәуір күрделендіреді [2, 3].

СРҚ-ды сұйық емес күйге келтіру радиоактивті заттардың миграциясын шектеуге және ұзақ мерзімді қауіпсіздікті қамтамасыз етуге бағытталған перспективалы тәсілдердің бірі болып табылады. Қазіргі уақытта СРҚ-ны иммобилизациялау үшін цементтеу, битумдау, шынылау және полимерлік матрицаларға енгізу әдістері қолданылуда. Алайда бұл технологиялар қалдық көлемінің ұлғаюына, жоғары температуралық режимдерге немесе күрделі технологиялық жабдықтарды пайдалануға байланысты бірқатар шектеулерге ие.

Осыған байланысты соңғы жылдары сұйық радиоактивті қалдықтарды сорбциялық материалдар көмегімен сұйық емес күйге келтіру әдістеріне ерекше назар

СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ (СРҚ) СҰЙЫҚ ЕМЕС КҮЙГЕ КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

аударылуда. Сорбенттер сұйықтықтарды физикалық және физико-химиялық механизмдер арқылы байланыстырып, радионуклидтердің қозғалғыштығын төмендетуге және қалдықтарды құрылымдауға мүмкіндік береді. Әсіресе құрамында майлы компоненттері бар радиоактивті қалдықтарды өңдеу кезінде сорбенттердің ісіну, абсорбция және десорбция қасиеттерін кешенді зерттеу маңызды болып табылады [8].

Осы жұмыста өнеркәсіптік үлгідегі сорбенттермен қатар Қазақстан Республикасының ғылыми ұйымдары әзірлеген мамандандырылған сорбенттердің де сорбциялық сипаттамалары қарастырылды. Зерттеулер БН-350 реактор қондырғысында жинақталған нақты қалдықтардың химиялық құрамы, тығыздығы және тұз мөлшеріне барынша жақын сұйық және майлы радиоактивті қалдықтардың (СРҚ және МРҚ) модельдік имитаторларын пайдалана отырып жүргізілді, бұл алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығын арттыруға мүмкіндік берді.

Зерттеу шеңберінде тоғыз түрлі сорбенттің тиімділігі ісіну қабілеті, абсорбция және десорбция параметрлері бойынша бағаланды.

– Ісіну қабілеті – сорбентке СРҚ сіңуі нәтижесінде оның көлемінің ұлғаю дәрежесін сипаттайды;

– Абсорбция – СРҚ-ның сорбенттің ішкі құрылымына ену үдерісі;

– Десорбция – бұрын сіңірілген сұйықтықтың сорбенттен бөлініп шығу үдерісі, ол сұйықтықты ұстаудың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Аталған параметрлерді талдау СРҚ-ны сұйық емес күйге келтіруге арналған сорбциялық материалдардың салыстырмалы тиімділігін анықтауға және оларды практикалық қолдану тұрғысынан негіздеуге мүмкіндік берді.

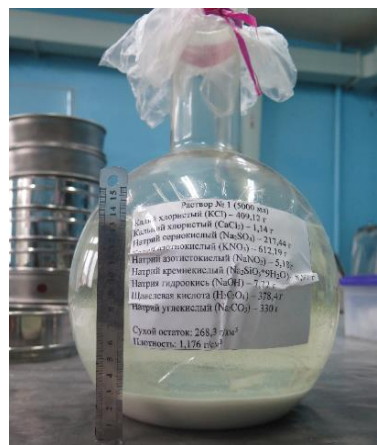
ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Сорбент – сұйықтықта ерімейтін және абсорбция, адсорбция немесе осы екі үдерістің жиынтығы нәтижесінде сұйықтықтарды ұстап қалу және бөліп алу үшін қолданылатын материал немесе материалдар комбинациясы. Сорбенттің ауадағы құрғақ күйі деп оның ылғалдылығы қоршаған ауаның салыстырмалы ылғалдылығымен тепе-теңдік жағдайында болатын күйі түсініледі.

Сынақ әдістемесін пысықтау және зерттеу жүргізу кезінде персоналға түсетін дозалық жүктемені азайту мақсатында сұйық радиоактивті қалдықтардың (СРҚ) және құрамы майлы радиоактивті қалдықтардың (МРҚ) химиялық қасиеттерін имитациялайтын модельдік үлгілер дайындалды.

Көлемі 5 л, тығыздығы 1,176 г/см³ болатын сұйық радиоактивті қалдықтардың имитациялық ерітіндісі (СРҚ имитаторы) химиялық құрамы бойынша «МАЭК» ЖШС БН-350 реактор қондырғысының радиоактивті қалдықтар алаңындағы № 157 ғимаратта орналасқан Б-02/1 ыдысында сақталатын нақты СРҚ-ға сәйкес келеді. Құрғақ қалдықтың концентрациясы 268,3 г/дм³ құрайды.

Құрамы майлы радиоактивті қалдықтардың имитациялық ерітіндісі (МРҚ имитаторы) ТП-22с маркалы минералды турбина майын пайдалану және сілті қосу арқылы дайындалды, нәтижесінде ерітіндінің рН мәні 10,78-ге жеткізілді. МРҚ имитаторы БН-350 РҚ алаңындағы № 157 ғимаратта орналасқан 02/06 ыдыста сақталған нақты қалдықтардың химиялық құрамына сәйкес келеді.



№	Название	Химическая формула	Масса в растворе, г
1	Калий хлористый	KCl	409,12
2	Кальций хлористый	CaCl ₂	1,14
3	Натрий серноокислый	Na ₂ SO ₄	217,44
4	Калий азотноокислый	KNO ₃	612,19
5	Натрий азотистокислый	NaNO ₂	5,18
6	Натрий кремнекислый	Na ₂ SiO ₂ * 9 H ₂ O	8,97
7	Натрия гидроокись	NaOH	7,77
8	Шавелевая кислота	H ₂ C ₂ O ₄	378,4
9	Натрий углекислый	Na ₂ CO ₃	330,0

1-сурет. СРҚ имитаторының сыртқы түрі мен химиялық құрамы



2-сурет. МРҚ имитаторының сыртқы түрі

Нарықтағы сорбенттік қасиеттері бар лайықты және қол жетімді материалдар іздестірілді, оның негізінде кандидаттық сорбенттердің тізімі жасалды. Кандидаттық сорбенттердің сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

**СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ (СРҚ) СҰЙЫҚ ЕМЕС КҮЙГЕ КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН
МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ**

1-кесте. Кандидаттық сорбенттердің сипаттамалары

№	Атауы	Меншікті көлемі, см ³ /г	Тығыздығы, г/см ³	Фракциясы (бөлшектердің басымы өлшемі), мм	Сипаттамалары (заттаңба бойынша), өндіруші ел
1	Агровермикулит	2,92	0,34	0,4–4 (96%)	Өсімдіктерге арналған, РФ
	Вермикулит ҚР	5,43	0,18	0,2–0,8 (76%)	Өндіруші «AVENUE» ЖШС, Шымкент қ., ҚР
2	Агроперлит	6,62	0,151	0,4–4 (96%)	Агроперлит, РФ
	М-100 қопсыған перлит	19,23	0,05	0,1–0,4 (72%)	Өндіруші «UNION PERLITE» ЖШС, Алматы қ., ҚР
3	Бентонит	1,13	0,89	< 0,1 (94%)	Шарапты тазартуға арналған, РФ
4	Суперабсорбент	1,43	0,70	0,2–1,5 (89%)	Өсімдіктерге арналған гидрогель, «Ядролық технологиялар паркі» АҚ, ҚР
5	Шәкәрім атындағы Университеттің сорбенті	1,57	0,64	0,2–0,4 (86%)	Арнайы әзірленген сорбент
6	С-Верад	6,76	0,15	0,4–0,8 (85%)	Мұнай өнімдерінің, қышқылдардың, майлардың сорбенті. ТШ 2164-001-59998726-2005. Өндіруші: «Арталія» ЖШҚ ӨК, РФ
7	Экопросорб М	1,87	0,54	0,8–1,5 (90%)	Қышқылдардың, сілтілердің, мұнай өнімдерінің сорбенті. ТШ 2164-007-42754173-2015. Өндіруші: «Про-Экология» ЖШҚ, Мәскеу қ., РФ.
8	Oil-Dri Premium	1,49	0,67	0,8–1,6 (98%)	Отын, май және жақпамай негізіндегі көмірсутектерді сіңіруге арналған сорбциялайтын Oil-Dri Premium түйіршіктері, Ұлыбритания
9	Oil-Dri Absorbent	1,28	0,78	0,8–1,6 (98%)	Сорбциялайтын түйіршіктер. Кез келген төгілген майды жедел тазарту үшін патенттелген процесті пайдалана отырып, Ұлыбританияда өндірілген және жасалған гипстан дайындалған.

Сорбенттердің сорбциялық қасиеттерін бағалау үшін олардың әртүрлі күйіндегі меншікті көлемі, ісіну қабілеті, абсорбция және десорбция параметрлері зерттелді. Бұл зерттеулер СРҚ және МРҚ имитаторларымен өзара әрекеттесу кезінде материалдардың сұйық емес күйге келтіру тиімділігін анықтауға мүмкіндік берді.

Ісіну қасиетін анықтау әдістемесі. Ісіну қасиеті – бұл сорбенттің сұйықтықпен өзара әрекеттесу кезінде көлемінің өзгеруін сипаттайтын негізгі көрсеткіш. Ол макроадикал құрамына, кеуктілігіне, функционалдық топтардың және иондардың қасиеттеріне тәуелді болып, сорбенттің механикалық беріктігіне де әсер етеді.

Сорбенттің абсолютті ісіну қасиеті см³/г түрінде көрсетіледі, ісінген және құрғақ сорбенттердің меншікті көлемдерінің арасындағы айырмашылық ретінде анықталады:

$$H_{\text{абс}} = V_{\text{менш.ісіну}} - V_{\text{менш.құр}} \quad (1)$$

Салыстырмалы ісіну қасиеті бұл сұйықтықпен өзара әрекеттесуі кезінде сорбент көлемінің ұлғаю көрсеткіші. Сорбенттің салыстырмалы ісіну қасиеті – бұл ісінген сорбенттің меншікті көлемінің құрғақ сорбенттің меншікті көлеміне қатынасы ретінде анықталады:

$$H_{\text{салыс}} = \frac{V_{\text{менш.ісіну}}}{V_{\text{менш.құр}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Сорбенттің абсорбциялық тиімділігін анықтау әдістемесі. Абсорбцияны сынау – сорбенттердің әртүрлі сұйықтықтарды сіңіру қабілетін бағалаудың негізгі әдісі. Бұл процесс ерітінділерден белгілі бір заттарды бөліп алуға сорбенттердің тиімділігін салыстыруға мүмкіндік береді.

Абсорбциялық тиімділігін бағалау әдістемесі сорбентті дайындау мен кептіруді, оның мақсатты затын артық мөлшердегі ерітіндісімен өзара әрекеттесуін, содан кейін сорбентті алуды және ерітіндідегі зат концентрациясының өзгеруін талдауды қамтиды. Алынған деректер абсорбция тиімділігін есептеуге және әртүрлі сорбенттерді салыстыруға мүмкіндік береді, бұл оңтайлы материалды таңдауға ықпал етеді. Ісінген сорбент массасына сүйене отырып, оның абсорбциялық тиімділігі мына формула бойынша есептелді

$$A = \frac{m_{\text{ісіну}} - m_{\text{құр}}}{m_{\text{ісіну}}} \cdot 100 \quad (3)$$

мұндағы: A – абсорбциялық тиімділік; m_{ісіну} – ісінген сорбент массасы; m_{құр} – құрғақ сорбент массасы.

Сорбенттің десорбция қабілетін анықтау. Десорбция сорбенттен бұрын сіңірілген сұйықтық компоненттерін шығару қабілетін бағалайды. Бұл процесс сорбентті қайта пайдалану немесе әртүрлі жағдайларда тұрақтылығын тексеру үшін маңызды болып табылады. Десорбциялық қабілетті бағалау үшін сорбенттен шығарылған компоненттің мөлшері аналитикалық әдістермен өлшеніп, бастапқы сіңірілген зат көлемімен салыстырылады. Десорбция қабілетін есептеуге арналған формула:

$$\frac{m_1 - m_{\text{құр}}}{m_1} \cdot 100 \quad (4)$$

мұндағы: m₁ – майлықтардың екінші жағын да сулау тоқталығаннан кейінгі сорбенттің сұйықтықпен бірге массасы; m_{құр} – құрғақ сорбенттің массасы.

Ұстау тиімділігі коэффициентінің өлшемділігі – масса %.

**СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ (СРҚ) СҰЙЫҚ ЕМЕС КҮЙГЕ КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН
МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ**

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

СРҚ имитаторлары бар әртүрлі материалдардың сорбциялық қасиеттерін зерттеу сорбенттердің әрқайсысының бірегей сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік берді.

№ 1 сорбент (вермикулит) десорбциядан кейін 1 г сорбентке 2,0 г сұйықтықты ұстап тұрып, бірқалыпты абсорбциялық қабілетімен сипатталады. Бұл нәтиже басқа сорбенттермен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен, бірақ сорбент сұйықтықты ұстау процесінде белгілі бір тиімділікті көрсетті.

№ 2 сорбент (М-100 перлит) бөлме температурасында 1 г сорбентке 15,6 г имитаторды ұстап тұру арқылы максималды абсорбциялық қабілетін көрсетті. Сұйықтықпен әрекеттескен кезде көлемінің төмендеуіне қарамастан, десорбциядан кейін 1 г сорбентке 6,4 г-ға дейін сұйықтықты ұстап, жақсы нәтиже көрсете берді.

№ 3 сорбент (бентонит) салыстырмалы түрде төмен абсорбциялық қабілетін көрсетті, 1 г сорбентке небәрі 0,6 г сұйықтық сіңірді. Бұл деректер сорбент ретінде пайдаланылған кезде оның шектеулі тиімділігін көрсетті.

№ 4 сорбент (суперабсорбент) – зерттелетін материалдар арасында ең көп ісіну қасиетін көрсетті, көлемі 4 есе өсті. Десорбциядан кейін ол 1 г сорбентке 19 г-ға дейін сұйықтық сіңіру арқылы сұйықтықты ұстаудың жоғары тиімділігін көрсетті, бұл барлық сыналған материалдар арасындағы ең жоғарғы көрсеткіш.

№ 6 сорбент (С-ВЕРАД) 1 г сорбентке 5,4 г сұйықтықты сіңіру арқылы жақсы абсорбциялық нәтиже көрсетті. Бұл тиімді сорбенттер санатына

жатқызылады, дегенмен М-100 перлиті сияқты тиімділігі жоғары материалдардан төмен.

№ 8 сорбент (Oil-Dri Premium) 1 г сорбентке 1,2 г сұйықтықты ұстап тұру арқылы төмен абсорбциялық нәтиже көрсетті, сонымен қатар бұл сорбенттің осы рөлде шектеулі қабілетін көрсетеді.

Агровермикулит пен агроперлит М-100 перлиті сияқты аса тиімді сорбенттерден жоғары болмай, бірқалыпты абсорбциялық нәтиже көрсетті. Дегенмен олардың көрсеткіштері де тұрақты абсорбциялық қабілетін көрсетті.

Осылайша зерттелген сорбенттердің ішінде тиімділігі ең жоғары № 4 суперабсорбент пен № 2 М-100 перлит құмы, бұл олардың жоғары сорбциялық сипаттамаларды қажет ететін әртүрлі салалардағы әлеуетті құндылығын растайды.

Жоғарыда аталған сорбенттердің нақты СРҚ-мен өзара әрекеттесуі кезіндегі сорбциялық сипаттамаларының салыстырмалы нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

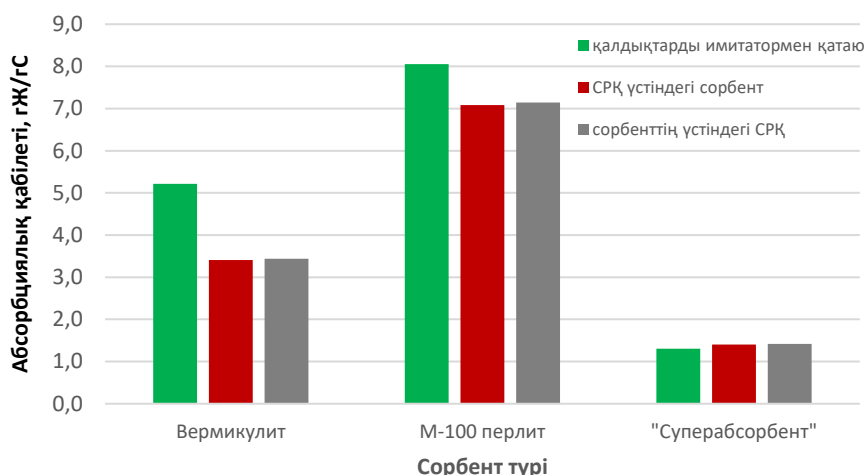
СРҚ имитаторларын пайдалана отырып жүргізілген зерттеулер негізінде сорбенттер ранжирленді. Кестеде көрсетілген деректерді талдау нәтижесінде СРҚ-мен одан әрі тәжірибелік сынақтар жүргізуге сипаттамалары ең жоғары үш сорбент таңдалды: Агровермикулит фракциясы 0,4–4 мм, қопсытылған М-100 перлит құмы және «Суперабсорбент».

Барлық қажетті параметрлер анықталғаннан кейін имитаторлар арқылы әзірленген әдістеме бойынша нақты СРҚ үлгілерімен эксперименттер жүргізілді. Бұл тәжірибелердің нәтижелері имитаторлармен алынған деректермен жақсы корреляцияланып, БН-350 СРҚ-мен жұмыс барысында таңдалған сорбенттердің сорбциялық және десорбциялық қасиеттерін растады.

2-кесте. Кандидаттық сорбенттердің СРҚ және МРҚ имитаторларымен өзара әрекеттесуі кезінде сорбциялық сипаттамаларын анықтау нәтижелері

№	Сорбенттер	Ісіну қасиеті, %		Абсорбциялық қасиеті, %		Десорбциядан кейінгі абсорбциялық қасиеті, %	
		СРҚ	МРҚ	СРҚ	МРҚ	СРҚ	МРҚ
1	Агровермикулит	220	110	4,6	6,0	1,1	2,6
	ҚР Вермикулиті	180	90	1,3	14,6	0,2	2
2	Агроперлит	160	100	8,0	2,5	1,3	1
	М-100 перлиті	120	110	2,1	0,6	0,9	6,4
3	Бентонит	120	100	8,8	7,0	2	4
4	Суперабсорбент	157	40	8,0	0,5	1,2	0,2
5	Шәкәрім сорбенті	160	100	1,4	4,3	0,2	2,8
6	С-Верад	160	100	15,6	5,4	4,4	0,6
7	Экопросорб М	140	100	6,7	1,3	3,1	0,7
8	Oil-Dri Premium	60	110	6,7	1,2	19,4	0,2

СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ (СРҚ) СҰЙЫҚ ЕМЕС КҮЙГЕ КЕЛТІРУГЕ АРНАЛҒАН МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ



3-сурет. Нақты СРҚ -мен әрекеттескен кездегі сорбенттердің сорбциялық сипаттамаларын салыстыру

ҚОРЫТЫНДЫ

Қоршаған ортаның органикалық және бейорганикалық заттармен, соның ішінде сұйық радиоактивті қалдықтармен (СРҚ) ластануының артуы тиімді басқару әдістерін әзірлеуді талап етеді. СРҚ-ны сұйық емес күйге келтірудің перспективасы шешімі ретінде сорбенттік материалдар қарастырылды.

БН-350 реактор қондырғысының СРҚ-мен жұмыс істеу тәжірибесі олардың химиялық белсенділігі жоғары екенін және қауіпсіз сақтауды қамтамасыз етуді қиындататынын көрсетті. Осы зерттеу шеңберінде СРҚ имитаторлары мен әртүрлі сорбенттер қолданылып, модельдік сынақтар жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша ең тиімді сорбенттер анықталды:

– **№ 11 сорбент (суперабсорбент)** – ең жоғары ісіну қабілеті, көлемі 4 есеге дейін ұлғайды;

– **№ 4 сорбент (М-100 перлит)** – бөлме температурасында максималды абсорбциялық қабілет көрсетті (1 г сорбентке 15,6 г сұйықтық), десорбциядан кейін де 1 г сорбентке 6,4 г сұйықтықты ұстап тұрды;

– **№ 1 сорбент (вермикулит)** – салыстырмалы түрде төмен абсорбциялық көрсеткіш (1 г сорбентке 2,0 г сұйықтық).

Майлы қалдықтар имитаторымен өзара әрекеттесу кезінде М-100 перлит ұсақ дисперсті құрылымы арқасында ең үлкен абсорбциялық қабілетін сақтады, ал бентонит пен Oil-Dri Premium төмен тиімділік көрсетті (1 г сорбентке сәйкесінше 0,6 г және 1,2 г).

Алынған нәтижелер СРҚ-ны сұйық емес күйге келтірудің практикалық әдістерін әзірлеуге және халық пен қоршаған ортаның экологиялық және радиациялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған маңызды ақпарат береді. СРҚ-ны сұйық емес күйге келтіру үшін ең тиімді және тұрақты материал ретінде М-100 перлит танылды.

Қаржыландыру

Жұмыс ИРН BR24993140 «Сұйық радиоактивті қалдықтарды қайта өңдеу технологиясын таңдауды және іске асыруды негіздеу жөніндегі ҒЗЖ» шеңберінде Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүргізілді.

ӘДЕБИЕТ

1. Пайдаланылған отынмен жұмыс істеу қауіпсіздігі туралы және радиоактивті қалдықтармен жұмыс істеу қауіпсіздігі туралы біріккен конвенция жөніндегі Қазақстан Республикасының Ұлттық баяндамасы. – Астана, 2014. – 123 б.
2. БН-350 РҚ-ның сұйық радиоактивті қалдықтарын сорбенттерді пайдалана отырып, сұйық емес күйге келтіру мүмкіндігін негіздеуді зерттеу жөніндегі ғылыми-зерттеу жұмыстары туралы есеп. – Курчатов, 2024. – 217 б.
3. Қазақстан Республикасы Үкіметінің БН-350 реакторын пайдаланудан шығару туралы қаулысы. – Астана, 1999. (*ұлттық нормативті құжат*)
4. International atomic energy agency. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors. Safety Standards Series No. WS-G-2.1. – Vienna: IAEA, 1999. – 9 p.
5. Abdel Rahman R.O., Ibrahim H.A., Hung Y.-T. Liquid radioactive wastes treatment: A review // Water. – 2011. – Vol. 3(2). – P. 551–565.
6. Wang J., Chen C. Sorption of radionuclides by inorganic materials // Journal of Hazardous Materials. – 2012. – Vol. 209–210. – P. 119–122.
7. Zou S. [et al.] Risk analysis of high-level radioactive waste storage tank based on HAZOP // Annals of Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 119. – P. 106–116.
8. Milyutin V. V., Nekrasova N. A., Kaptakov V. O. Modern sorption materials for cesium and strontium radionuclide extraction from liquid radioactive waste // Radioactive Waste. – 2020. – No. 4(13). – P. 80–89.

REFERENCES

1. Paidalanylğan otyнmen jūmys isteу qauıpsızdıǵı turaly jāne radioaktivti qaldyqtarmen jūmys isteу qauıpsızdıǵı turaly bırıkken konvensia jōnındeǵı Qazakstan Respublikasynyñ Ūltyq baiandamasy. – Astana, 2014. – 123 p.
2. BN-350 RQ-nyñ sūıyq radioaktivti qaldyqtaryн sorbentterdi paidalana otyryp, sūıyq emes küıge keltiru мүmkındıǵın neǵızdeudi zertteу jōnındeǵı ğylymi-zertteу jūmys-tary turaly esep. – Kurchatov, 2024. – 217 p.
3. Qazaqstan Respublikasy Ūkimetiniñ BN-350 reaktoryн paidalanudan шыǵaru turaly qaulysy. – Astana, 1999. (ūltyq normativti qūjat).
4. International atomic energy agency. Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors. Safety Standards Series No. WS-G-2.1. – Vienna: IAEA, 1999. – 9 p.
5. Abdel Rahman R.O., Ibrahim H.A., Hung Y.-T. Liquid radioactive wastes treatment: A review // Water. – 2011. – Vol. 3(2). – P. 551–565.
6. Wang J., Chen C. Sorption of radionuclides by inorganic materials. Jurnal Journal of Hazardous Materials. – 2012. – Vol. 209–210. – P. 119–122.
7. Zou S. [et al.] Risk analysis of high-level radioactive waste storage tank based on HAZOP // Annals of Nuclear Energy. – 2018. – Vol. 119. – P. 106–116.
8. Milyutin V. V., Nekrasova N. A., Kaptakov V. O. Modern sorption materials for cesium and strontium radionuclide extraction from liquid radioactive waste // Radioactive Waste. – 2020. – No. 4(13). – P. 80–89.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ ПЕРЕВОДА ЖРО В НЕТЕКУЧЕЕ СОСТОЯНИЕ

Ә. Д. Ноқанова^{1*}, О. С. Букина^{1,2}, Ю. Ю. Бакланова¹, Е. Т. Коянбаев¹, В. В. Бакланов¹

¹ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

² НАО «Шакарим университет», Семей, Казахстан

* E-mail для контактов: nokanovaamina@nnc.kz

В 1999 году постановлением Правительства Республики Казахстан было принято решение о выводе из эксплуатации реакторной установки БН-350 (РУ). Концепция вывода реактора из эксплуатации предусматривает три основных этапа: на первом этапе – приведение реактора в безопасное состояние; на втором этапе – обеспечение хранения в течение примерно 50 лет; на третьем этапе – демонтаж зданий и сооружений с последующим захоронением образовавшихся радиоактивных отходов. На первом этапе работ по выводу из эксплуатации предусматривается размещение использованного ядерного топлива для длительного хранения, обращение с теплоносителями, жидкими и твердыми радиоактивными отходами, а также подготовка зданий и сооружений к безопасному хранению. В период эксплуатации реактора накопленные жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) в настоящее время размещены в специально предназначенных для этого емкостях. В связи с длительным сроком эксплуатации этих емкостей и риском нарушения их герметичности, разработка эффективных методов перевода ЖРО в нетекучее (твердое или гелеобразное) состояние является одной из актуальных научно-технических задач. Такие методы позволяют предотвращать распространение радиоактивных веществ в окружающую среду даже в потенциальных аварийных ситуациях. Одним из перспективных подходов перевода ЖРО в не жидкое состояние является использование сорбционных материалов, которые эффективно изолируют жидкие отходы и ограничивают миграцию радионуклидов [1–3].

В настоящей статье рассмотрена методика определения сорбционных свойств различных материалов, предлагаемых производителями, для перевода жидких радиоактивных отходов в нетекучее состояние. Представлены результаты исследования сорбционных характеристик ряда промышленных и экспериментальных образцов сорбентов, а также дана оценка их эффективности при взаимодействии с модельными растворами ЖРО.

Ключевые слова: жидкие радиоактивные отходы, маслосодержащие радиоактивные отходы, сорбенты, сорбционные характеристики.

DETERMINATION OF SORPTION CHARACTERISTICS OF MATERIALS
FOR THE TRANSFORMATION OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE
INTO A NON-FLOWABLE STATE

A. D. Nokanova^{1*}, O. S. Bukina^{1,2}, Yu. Yu. Baklanova¹, Ye. T. Koyanbayev¹, V. V. Baklanov¹

¹ Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

² NP JSC "Shakarim University", Semey, Kazakhstan

* E-mail for contacts: nokanovaamina@nnc.kz

In 1999, the Government of the Republic of Kazakhstan adopted a decision to decommission the BN-350 reactor facility (RF). The decommissioning concept consists of three main stages: the first stage involves bringing the reactor to a safe condition, the second stage ensures storage for approximately 50 years, and the third stage includes the dismantling of buildings and structures, followed by the disposal of the resulting radioactive waste. During the first stage of decommissioning, the placement of spent nuclear fuel for long-term storage, handling of heat-transfer media, liquid and solid radioactive waste, as well as preparation of buildings and structures for safe storage are planned. Liquid radioactive waste (LRW) accumulated during the reactor's operational period is currently stored in specially designated containers. Due to the long service life of these containers and the potential risk of their integrity being compromised, developing effective methods for converting LRW into a non-liquid (solid or gel-like) form is an urgent scientific and technical task. Such methods allow for the prevention of radioactive substance release into the environment even under potential accident conditions. One of the promising approaches to LRW immobilization is the use of sorbent materials, which efficiently isolate liquid waste and limit the migration of radionuclides [1–3].

This study presents a methodology for determining the sorption properties of various materials offered by manufacturers for converting liquid radioactive waste into a non-liquid form. The results of the investigation of the sorption characteristics of a number of industrial and experimental sorbent samples are provided, and their effectiveness was evaluated during interaction with model LRW solutions.

Keywords: liquid radioactive waste, oil-containing radioactive waste, sorbents, sorption characteristics.