

## СПОСОБИ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВИСОКОТОКСИЧНИХ СТОКІВ ЗВАЛИЩ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

*В. І. Кашковський, В. П. Кухар*

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, Київ*

*Надійшла до редакції 15.04.05*

**Резюме:** Робота присвячена вирішенню важливої екологічної проблеми – знешкодженню високотоксичних стоків міських звалищ твердих побутових відходів. Для знешкодження концентрованого залишку (концентрату), одержаного після очищення фільтрату, розроблено одностадійну технологію перетворення його у твердий, практично водонерозчинний матеріал, котрий пропонується утилізувати на території звалища шляхом пересипання ним шарів побутового сміття. Розроблено спосіб зміни агрегатного стану фільтрату – продукту розкладу органічної складової сміття шляхом перетворення його в гелеподібний, а потім і в твердий водонерозчинний стан. Запропоновано технологічне вирішення впровадження у промисловість розробленого способу.

**Ключові слова:** побутові відходи, фільтрат, концентрат, знешкодження, водонерозчинний матеріал, технологія.

### **В. И. Кашковский, В. П. Кухарь. СПОСОБЫ УНИЧТОЖЕНИЯ ВЫСОКОТОКСИЧНЫХ СТОКОВ СВАЛОК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.**

**Резюме:** Работа посвящена решению важной экологической проблемы – нейтрализации высокотоксичных стоков городских свалок твердых бытовых отходов. Для нейтрализации концентрированного остатка (концентрата), полученного после очищения фильтрата, разработано одностадийную технологию превращения его в твердый, практически водонерастворимый, материал, который предлагается утилизировать на территории свалки путем пересыпания им слоев бытового мусора. Разработан способ изменения агрегатного состояния фильтрата – продукта разложения органической составляющей мусора путем превращения его в гелеподобное, а потом и в твердое водонерастворимое состояние. Предложено технологическое решение промышленной реализации разработанного способа.

**Ключевые слова:** бытовые отходы, фильтрат, концентрат, нейтрализация, водонерастворимый материал, технология.

### **V. I. Kashkovsky, V. P. Kuchar. THE METHODS OF UTILIZATION OF HIGH-TOXIC SEWERS RUBBISH HEAPS.**

**Abstract:** The work is devoted to solve of the important ecological problem utilization of high-toxic sewerages of the town rubbish heaps of solid domestic wastes. For the utilization of concentrated residue obtained after purification of filtrate concentrate, it was developed the one-stage technology of its transformation into the solid, practically water-insoluble material, which is expected to utilize on the rubbish heap body by covering the layers of domestic wastes. The method of change of the aggregation state of filtrate – product of decomposition of organic component by its transformation into gelations form, some later into solid water-insoluble form. The technological solution of industrial installation of method developed has been proposed.

**Keywords:** domestic rubbish heaps, filtrate, concentrate, utilization, water-insoluble material, technology.

Люди практично завжди ототожнювали природу з невичерпним джерелом матеріальних благ, все більше включаючи до процесу суспільного виробництва різноманітні ресурси. Останнім часом щорічно із земних надр вилучається близько 100 млрд т корисних копалин [1]. Із них тільки 1–1,5 % витрачається на виробництво продукції, а більше 98 % потрапляє у доквілля у вигляді відходів [2]. На сьогоднішній день у світі накопичено 2–3 трлн т відходів і цей "запас" щорічно поповнюється на 10 млрд т. Значна їх частина утворена в результаті діяльності гірничодобувних, металургійних, енергетичних, переробних, сільськогосподарських, хімічних, нафтопереробних підприємств. Крім того, погіршенню загального екологічного стану ще далі то більше сприяють тверді побутові відходи (ТПВ) як продукти життєдіяльності людини. Навіть неповний перелік основних джерел відходів свідчить про різноманітність їх хімічного і мінерального складу. Об'єднуючим фактором для величезного асортименту відходів може бути сприйняття їх як вторинного сировинного джерела. При такому підході можна уявити можливі шляхи їх використання, які полягають ось у чому:

- 1) часткова або повна заміна первинної сировини в промисловому виробництві;
- 2) використання як сировини для виробництва будівельних матеріалів;
- 3) одержання корисних і ліквідних продуктів;
- 4) перетворення на джерело енергоресурсів;
- 5) використання безпосередньо за призначенням як вихідного матеріалу, який не потребує попередньої складної підготовки.

І, нарешті, окремо слід виділити напрямок, який передбачає часткову або повну нейтралізацію відходів з подальшим використанням одержаних продуктів або їх захороненням на спеціальних полігонах.

Безумовно, вищесказане не претендує на повноту освітлення проблеми відходів у цілому, але окреслює конкретні кроки до реалізації науково виважених заходів для її вирішення. Втілення цих заходів у практику можливе за умов глибокого дослідження у кожному конкретному випадку, оскільки крім екологічної привабливості вибраний підхід повинен бути економічно доцільним.

Надзвичайно важка ситуація з відходами склалася останнім часом і в Україні, де їх кількість оцінюється приблизно в 25 млрд т і які займають понад 160 000 га землі. Відсутність реальної уваги на державному рівні до проблеми відходів привела практично до відсутності застосування сучасних високоефективних технологій, призначених для її вирішення. Як результат у ряді регіонів склалася вкрай небезпечна, а подекуди і катастрофічна ситуація, яка потребує негайного втручання відповідних інституцій. Ще одним стимулюючим фактором для прийняття відповідальних рішень повинно стати те, що Україна з відходами щорічно втрачає 3,3 млн т макулатури, 550 тис. т металу, 660 тис. т полімерів, 770 тис. т скла, 550 тис. т текстилю. На жаль, на сьогодні відсутні суттєві зрушення, пов'язані з утилізацією та знешкодженням відходів, хоча ще в 2000 р. був прийнятий Закон України про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами, де передбачено послідовне скорочення їх обсягів, утилізацію, знешкодження та видалення.

Екологічний стан у м. Києві, обумовлений відходами, є, певною мірою, відображенням загальної картини в цілому по країні. Київською Міською радою в 2002 р. було затверджено "Головні основи екологічної політики в м. Києві". Основною метою цього документу є те, що розвиток столиці розглядається через погодженість економічного, соціального і екологічного аспектів, а одним із пріоритетних напрямів визнається питання утилізації побутових і промислових відходів, що перед-

бачає проведення відповідних наукових досліджень і впровадження на їх основі сучасних технологій переробки і знешкодження відходів. Важливим кроком на шляху до реалізації означеної екологічної політики стала взаємодія міської адміністрації з науковими установами НАН України. Зокрема, в рамках цієї співпраці в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України виконується цикл робіт, направлених на розробку ефективних способів знешкодження токсичних залишків, одержаних після очищення промислових стоків та стоків комунальних підприємств м. Києва і відпрацювання, відповідно, оптимального технологічного рішення. Вибір об'єкту для проведення досліджень продиктований, в першу чергу, необхідністю вирішення конкретної екологічної проблеми міста, а саме проблеми утилізації високотоксичних стоків міського звалища ТПВ, так званого фільтрату (продукт розкладу органічної складової побутового сміття), якого через відсутність ефективної системи знешкодження накопичено кілька сотень тисяч кубометрів.

Крім того, привабливість вибраного об'єкту для відпрацювання технологічного способу його знешкодження полягає ще і в тому, що хімічний склад фільтрату включає широкий спектр різних за природою токсинів. За даними лабораторії гігієни водопостачання і охорони водоймищ МОЗ України фільтрат є концентрованим стоком (сухий залишок складає більш як 28 г/л), забрудненим органічними речовинами – леткими фенолами, формальдегідом, нафтопродуктами (величина хімічного споживання кисню – 20–24 г/л), фосфатами, солями важких металів. Серед забруднювачів мінеральної природи найбільш високий вміст належить залізу – 90–200 мг/л. Наявні також такі високотоксичні метали, як ртуть, свинець, мідь, марганець та ін. Крім того, залежно від місця і часу відбору проб фільтрату вміст домішок може змінюватися досить помітно.

За останні кілька років було запропоновано ряд заходів щодо вирішення проблем стоків звалища, задекларовано низку сучасних методів, а деякі з них апробовано в умовах звалища. Для більш повного сприйняття реального положення справ доцільно навести найбільш суттєві пропозиції стосовно вирішення проблеми фільтрату. На сьогодні для його очищення задіяне обладнання німецької фірми "ROXI" потужністю 200 м<sup>3</sup>/добу, яке працює на принципі зворотного осмосу. Нескладні підрахунки показують, що навіть при виключенні нових надходжень фільтрату і за умови безперервної роботи установки накопичена кількість фільтрату може бути перероблена лише протягом кількох років. Якщо ж взяти до уваги, що кількість стоків продовжує непинно зростати за рахунок діяльності звалища, а їх загальний об'єм – ще й за рахунок розбавлення атмосферними опадами, і врахувати, що режим роботи установки далекий від ідеального, то стає очевидною неможливість вирішення поставленого завдання за її допомогою. Питання збільшення потужності установки зворотного осмосу не знайшло реальної підтримки зацікавлених організацій через високу вартість такої системи і складність її експлуатації. Як найбільш перспективне доповнення до існуючого на звалищі обладнання була апробована установка низькотемпературного вакуумного випаровування E2400 FF виробництва фірми "Led Italia". За період її експлуатації зафіксовані стабільні показники якості очищеної води, котрі відповідають нормативам, що допускають її скидання у водоймища культурно-побутового призначення. Ця система в порівнянні зі зворотним осмосом більш надійна, але більш енергоємна. У процесі випробувань було показано, що питомі витрати електроенергії на 1 м<sup>3</sup> очищеної води склали 190 кВт.

Серед задекларованих пропозицій технологічних вирішень проблеми фільтрату, в тому числі тих, ефективність яких була підтвер-

джена лабораторними дослідженнями, слід відмітити такі:

- електроплазмова технологія – це принципово нові фізичні методи, в яких використовуються електричні та магнітні поля для знезараження, знесолення і очищення водних потоків;
- комбінована схема, основана на методах біологічного очищення системами зворотного осмосу з наступним знесоленням;
- комбінована схема, яка передбачає обробку фільтрату ферментом класу оксигенази НС-зуме, розбавлення обробленого фільтрату міськими стічними водами в співвідношенні 1 : 1000 і скидання розбавленого фільтрату в міські каналізаційні стоки;
- комбінована схема реагентного очищення з подальшим знесоленням очищеної води системою зворотного осмосу або її скидання в міські каналізаційні стоки.

Кожний з наведених проектів технологічних рішень окрім різної фізичної суті має свої переваги і недоліки. Загальним же для більшості з цих рішень є те, що одним із кінцевих продуктів означених процесів є висококонцентрований залишок – концентрат, який потребує подальшої утилізації. Причому кількість такого залишку, утвореного при застосуванні того чи іншого методу, визначається фізичною природою самого методу і змінюється від 8 % у випадку низькотемпературного вакуумного випаровування до 16–20 % у випадку реагентного методу, запропонованого нами. Для системи зворотного осмосу кількість концентрату, який утворюється на міському звалищі, складає 30 м<sup>3</sup>/добу. Для його зберігання побудовано спеціальне озеро-накопичувач, де концентрат розбавляється атмосферними опадами, знову перетворюючись на фільтрат.

У світовій практиці найбільш доцільними з точки зору як економічних, так і екологіч-

них аспектів, визнані такі підходи вирішення проблеми:

- спалювання концентрату у відповідним чином укомплектованих і сертифікованих установках для утилізації високо забруднених рідин;
- контрольована за часом і обмежена за об'ємом інфільтрація концентрату в тіло звалища з метою покращення біохімічного процесу розкладання органічних речовин і прискорення процесу іммобілізації органічних матеріалів;
- зв'язування концентрату з різними матеріалами з подальшим складуванням одержаного матеріалу на звалищі.

Останній підхід найбільш раціональний, оскільки не потребує дорогого обладнання і виключає забруднення оточуючого середовища. Про перспективність такого напрямку свідчать роботи [3–5], автори яких для фіксації відходів, що містять іони важких металів, пропонують використання шламу, силікату натрію, летких фракцій зольного залишку, гіпсу [3] або безводного силікату натрію, гідроксиду алюмінію, оксиду цинку [5] з подальшим нагріванням одержаної маси в автоклаві при температурі 120–150 °С і тиску насичених парів. У таких умовах сполуки кремнію та алюмінію сумісно з токсичними відходами здатні утворювати *in situ* синтетичні цеоліти, в яких забруднювачі є складовими цеолітної кристалічної структури. В подальшому одержаний продукт змішують з в'язучими та наповнюючими матеріалами різної природи для формування блоків, гранул тощо.

Інститутом біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України розроблено безвідходну одностадійну технологію, яка дозволяє ефективно вирішити проблему утилізації концентрату шляхом його переведення в твердий стан з подальшим розміщенням одержаного матеріалу на території звалища. Як показали детальні дослідження, проведені Інститутом

гігієни та медичної екології ім. О. М. Марзеєва, матеріали, одержані в процесі зв'язування концентрату, практично нерозчинні у воді і безпечні для довкілля та здоров'я людини, оскільки відносяться до 4 класу небезпеки і класифікуються як "малонебезпечні речовини". Отже, якщо величина електропровідності фільтрату складає 20 000–22 000, а концентрату – 150 000 мікросіменсів на 1 см (мкСм/см), то ця ж величина для елюатів, визначена після витримання одержаного матеріалу під шаром води (з електропровідністю 460 мкСм/см) протягом 1, 10 і 60 діб складає 1350, 1370, 1360 мкСм/см відповідно. За результатами цих досліджень було одержано висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи за № 5/10/6051 від 19.02.2002 р. на продукт зв'язування концентрату. При цьому вартість витрачених реагентів на зв'язування 1 м<sup>3</sup> концентрату складає 4–5 гривень. Розроблено технологічний регламент на процес зв'язування концентрату та створено експериментальну установку на території звалища, яка здатна нейтралізувати 30 м<sup>3</sup>/добу високотоксичного стоку, тобто той об'єм, який залишається після добової роботи установки зворотного осмосу, а значить, розірвати існуючий безкінечний цикл "фільтрат–зворотний осмос–концентрат–фільтрат".

На розроблений спосіб оформлено відповідну заявку та одержано Деклараційний патент на винахід за № 62635 А.

Оскільки концентрат за хімічним складом можна віднести до найтоксичніших промислових рідких відходів, то є всі підстави чекати позитивних результатів при запровадженні розробленої технології для утилізації концентрованих відходів іншого походження або того ж концентрату, одержаного відмінною від зворотного осмосу технологією.

Що стосується безпосередньо фільтрату, то з огляду на вищесказане доцільною виглядає пропозиція Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії, направлена на зміну агрегатно-

го стану фільтрату з подальшим одержанням водонерозчинного продукту. Реалізація такого підходу могла б зняти гостроту ситуації за відносно короткий проміжок часу, що сприяло б нормальному функціонуванню звалища.

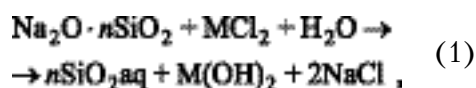
Суть означеного способу закріплення фільтрату полягає у переведенні його в гелеподібний стан з наступною трансформацією у твердий, практично водонерозчинний, матеріал. Однією із основних вимог при відпрацюванні даного способу була умова, за якої зміна агрегатного стану фільтрату досягається шляхом його механічного змішування з гелеутворюючими розчинами. Крім того, до складу таких розчинів повинні входити доступні і недорогі, нетоксичні і пожежо- та вибухобезпечні реагенти. З іншого боку, технологія виготовлення таких розчинів повинна бути простою, не вимагати спеціального обладнання, а також температури і тиску, відмінних від нормальних, а сам процес не повинен супроводжуватися тепловими ефектами, утворенням газових викидів та інших відходів. З урахуванням цього були детально розглянуті кілька десятків потенційно можливих реагентів, проаналізовано їх фізико-хімічні властивості, доступність, вартість тощо.

В результаті за базовий компонент взяли розчин силікату натрію (рідке скло за ГОСТ 13078-81). Взагалі гелеутворюючими розчинами були суміші розчинів рідкого скла певної густини та затверджуючих розчинів кислот і/або солей. Детальні дослідження привели до можливості принципового виділення двох основних груп методів зміни агрегатного стану фільтрату.

До першої групи можна віднести методи, використання яких не потребує введення в гелеутворюючі розчини спеціальних затверджувачів, а гідрогель кремнієвої кислоти є результатом хімічної реакції між розчином рідкого скла і солями фільтрату. В другій групі методів передбачається додаткове введення деякої кількості солей двох- або трьохвалент-

них металів або кислот, які ініціюють процеси гелеутворення.

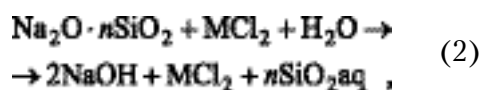
Незалежно від вибраного методологічного підходу до вирішення поставленого завдання важливим є розуміння суті процесів, що відбуваються, і, як результат, природи утворених продуктів, оскільки ці фактори можуть мати визначальне значення при промисловій реалізації способів, які розробляються. Як свідчить набутий досвід, найбільш реальною схемою (на прикладі хлориду двоцвального металу) є така:



M = катіон металу.

Аналіз власних напрацьованих результатів, а також літературних джерел [6–9] дають підставу стверджувати, що трьохвалентні метали реагують у розчині з силікатом натрію аналогічно двоцвальному, а сам процес можна уявити таким чином.

Завдяки коагуляції на поверхні розділу розчинів силікату натрію і солі металу утворюється плівка кремнієвої кислоти. Луг, який при цьому вивільняється і який завжди присутній завдяки гідролізу силікату натрію, реагує з хлоридом металу з утворенням його гідроксиду, що залишається в розчині практично до досягнення межі розчинності (схеми 2 і 3):



У результаті зміщення електролітичної рівноваги гідроксид натрію із розчину силікату натрію починає дифундувати через плівку кремнієвої кислоти у розчин хлориду металу. В цьому випадку під плівкою в розчині силікату натрію спостерігається дефіцит гідроксиду, а в масі розчину силікату натрію почина-

ють випадати кристали моносилікату натрію, причому в міру розвитку процесу ці кристали збагачуються кремнеземом. У розчині хлориду металу досить швидко досягається межа розчинності гідроксиду металу і останній виділяється в твердому вигляді, а це ще більше зсуває електролітичну рівновагу і прискорює дифузію гідроксиду натрію через плівку кремнієвої кислоти. У завершальній стадії з одного боку плівки кремнієвої кислоти утворюється розчин хлориду натрію зі зваженим у ньому гідроксидом металу, а з іншого – чиста кремнієва кислота з незначним вмістом гідроксиду.

Утворення плівки гелю SiO<sub>2</sub> на межі розділу розчинів силікату натрію і солі металу і супроводжуючі процеси дифузії лугу і хлоридів металів через плівку є основними факторами, які обумовлюють цементацію окремих часток фільтрату в міцний водонерозчинний матеріал.

З урахуванням вищевикладеного у розчині силікату натрію поблизу поверхні розділу можна виділити три зони, відмінні за хімічним складом і механічними властивостями, причому розміри їх будуть з часом змінюватися. Перша зона, яка розташована безпосередньо біля поверхні розділу, складається із кремнегелю, насиченого гідроксидом металу. Друга включає розчин силікату натрію, який втратив певну кількість лугу. Розмір цієї зони визначається кількістю лугу, яка перейшла шляхом дифузії із розчину силікату натрію в розчин солі. З віддаленням від поверхні розділу кількість лугу буде зростати, що обумовлює поступовий перехід від кремнегелю до третьої зони, яка є не що інше, як вихідний розчин силікату натрію, локалізований на поверхні твердих часток. З часом перша та друга зони будуть збільшуватися, а третя – зменшуватися до повного зникнення. Після цього почне зменшуватися і друга зона, і після її зникнення залишиться, як кінцевий результат, перша зона з поширенням на весь

об'єм силікату натрію, який цілком перейде в кремнегель, насичений гідроксидом металу.

Таким чином, у результаті коагуляційних і дифузійних процесів утворюється плівка кремнегелю, яка зв'язує частинки фільтрату. Товщина і властивості цієї плівки, які обумовлюють її міцність і довговічність, залежать від вихідного модуля рідкого скла, концентрації застосованих розчинів і розмірів зв'язуваних часток.

У подальшому викладення експериментальних результатів стосується досліджень, в яких використовували "внутрішній" резерв фільтрату, тобто в гелеутворюючі розчини не вводили спеціальних затверджувачів. Базовими складовими для виготовлення гелеутворюючих розчинів були:

- а) рідке скло густиною 1,45 г/см<sup>3</sup>;
- б) бентонітова глина із розрахунку наступних концентрацій у водній суспензії (мас. %) – 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0.

Брали 100 мл фільтрату і змішували з відповідним об'ємом глинистої суспензії з наважкою глини, яка відповідала одній із наведених вище концентрацій. Суміш ретельно перемішували, додавали до неї певний об'єм розчину рідкого скла і залишали для спостереження. В результаті було встановлено, що в залежності від кількості введених у фільтрат глини і рідкого скла час гелеутворення змінювався від 20 хв до 1 год. На основі проведених дослідів були визначені оптимальні умови, за яких одержаний матеріал ставав практично нерозчинним у воді.

Крім бентонітової глини використовували суспензію глуховецького каоліну, мергелевої та місцевої глин, тобто глин, родовище яких було розташоване найближче до міського звалища. У відпрацьованих рецептурах використовували ту ж густину рідкого скла і концентрації глин, що і в наведеній вище.

Було показано, що в залежності від кількості введених у фільтрат глини і рідкого скла

час гелеутворення змінюється від 20 хв до 1 год, причому при одному і тому ж об'ємі глинистої суспензії час гелеутворення зменшується зі збільшенням вмісту глини. Проте для досягнення однакового часу гелеутворення, рівного, наприклад, 1 години, доцільніше використовувати гелеутворюючий розчин з меншою кількістю глини. Як уже відмічалось, такий факт відіграє суттєву роль, оскільки дає можливість значно зменшити вартість гелеутворюючих розчинів. Слід врахувати також і те, що для процесу закріплення фільтрату більш оптимальною є тепла пора року, оскільки при цьому зменшується час гелеутворення, а також зменшується об'єм гелеутворюючих розчинів. Оскільки найбільший практичний інтерес представляє місцева глина, наведемо величину електропровідності елюатів, одержаних при дослідженні матеріалів, одержаних з її застосуванням (див. табл. 1).

У дослідженнях важливим було те, що електропровідність елюатів, одержаних для всіх зразків з використанням місцевої глини, не перевищує електропровідності води з водопроводу, а зі збільшенням в гелеутворюючих розчинах вмісту глини – наближається до електропровідності дистильованої води. Це свідчить про те, що одержані матеріали,

**Таблиця 1. Водорозчинність зразків, одержаних шляхом закріплення фільтрату гелеутворюючими розчинами за рецептурою з використанням місцевої глини**

Концентрація місцевої глини, %	Електропровідність, мкСм/см		
	10 діб	30 діб	60 діб
5	423	400	356
10	227	201	167
15	123	97	67
20	89	87	88
30	75	75	75
40	73	67	70
50	43	40	43
фільтрат	20000–22000		
концентрат	150000		

**Таблиця 2. Витратні показники реагентів для закріплення фільтрату**

№ п/п	Реагенти	Витрата реагентів, т	
		1 м <sup>3</sup> фільтрату	100000 м <sup>3</sup> фільтрату
1	Глина місцева	0,0125	1250
2	Рідке скло	0,0182	1820

принаймні в межах часу проведення досліджень, практично водонерозчинні.

Результатом виконаних робіт стала розробка рецепту оптимального складу гелеутворюючого розчину і відпрацювання способу його можливого практичного використання. Доцільність такого кроку обумовлена тим, що дана рецептура є найбільш привабливою з точки зору доступності і вартості сировинної бази. Екстраполяція розробленого способу на реальні об'єми фільтрату привела до необхідності обмеження оптимального діапазону вмісту складових в одиниці об'єму гелеутворюючого розчину. Це пов'язано з тим, що при промисловій реалізації приріст об'єму озера-накопичувача фільтрату  $V_{\text{заг.}}$  повинен бути мінімальним при мінімальній втраті ефективності процесу закріплення або повній її відсутності. У такому варіанті приріст величини  $V_{\text{заг.}}$  обмежений об'ємом складових гелеутворюючих розчинів, які вводяться в озеро-накопичувач. З урахуванням багатьох позицій найбільш доцільними для використання при промисловій реалізації способу закріплення є рецептури (склади) гелеутворюючого розчину з використанням місцевої глини. Надзвичайно важливою обставиною у цьому контексті, яка одержала підтвердження багатьма дослідженнями, є також те, що робочі розчини можна готувати на основі фільтрату. Оскільки одним із важливих, зручних для практичного використання, критеріїв ефективності гелеутворюючого розчину є його густина і час "життя" – важливо знайти оптимальний об'єм фільтрату, який може бути безпосередньо задіяний у технологічному

циклі виготовлення такого розчину ( $V_{\text{пит.}}$ ) для закріплення одиниці об'єму фільтрату. Експериментально було знайдено, що співвідношення  $V_{\text{пит.}} : V_{\text{фільт.}} = 1 : 3$ , де  $V_{\text{фільт.}}$  – об'єм фільтрату, закріплений одиницею об'єму гелеутворюючого розчину. Інакше кажучи, одним об'ємом гелеутворюючого розчину можна перевести в гелеподібний стан три об'єми фільтрату, а загальний об'єм фільтрату, переведеного в гелеподібний стан, буде дорівнювати сумі об'ємів  $V_{\text{пит.}}$  і  $V_{\text{фільт.}}$ . Слід також підкреслити, що в абсолютному вираженні (через різницю в густинах) об'єм, який займає гелеподібний осад, завжди менший об'єму вихідного фільтрату, причому з часом відбувається подальше ущільнення осаду за рахунок як хімічних процесів, які в системі продовжуються, так і природного процесу вивітрювання.

З огляду на вищевикладене були визначені оптимальні на момент проведення досліджень витратні показники реагентів для закріплення одиниці об'єму фільтрату. За таких умов приріст величини вихідного об'єму фільтрату складає 1,8–1,9 % (табл. 2).

Відпрацювання оптимального режиму для процесу гелеутворення в реальних умовах озера-накопичувача включало уточнення часу гелеутворення з урахуванням специфіки діяльності самого звалища. Іншими словами, враховувався час нагнітання гелеутворюючого розчину в різні точки озера-накопичувача, інструментальне оформлення процесів приготування і нагнітання такого розчину, можливі непередбачені умови тощо. З урахуванням цих факторів бажаний час гелеутворення складав трохи більше 1 год. Враховували також те, що при фіксованих витратних показниках реагентів час гелеутворення залежить від ступеня розбавлення фільтрату атмосферними опадами і збільшується з його зростанням. Для внесення відповідних поправок на природні обставини були проведені дослідження, які показали, що навіть при



розбавленні фільтрату у два рази час гелеутворення не перевищує 3 год і може бути відрегульований, при необхідності, густиною гелеутворюючого розчину. В результаті виконання робіт був встановлений ще один важливий факт. Виявилось, що об'єм закріпленого фільтрату лімітується об'ємом поданого гелеутворюючого розчину і не залежить від загального об'єму фільтрату, що дає можливість нагнати такий розчин в озеро-накопичувач необхідними порціями, які обумовлені потужністю змішувача пристрою для його виготовлення.

В залежності від конкретного завдання можливий повний або частковий перехід фільтрату у гелеподібний стан. Відмітимо, що завдяки високим адсорбційним властивостям одного з компонентів гелеутворюючого розчину і утворених продуктів неповне закріплення супроводжується певним очищенням незакріпленої частини фільтрату, принаймні, в зоні дії гелеутворюючого розчину, а його в'язучі властивості сприяють також і закріпленню периметра озера-накопичувача.

Складовими частинами, як кінцевими хімічними продуктами утвореної гелеподібної маси, є важкорозчинні гідроксиди різних металів, природна глина і гель кремнієвої кислоти. З часом можливе також утворення важкорозчинних силікатів і карбонатів (особливо в межах шару, який контактує з атмосферним повітрям) різних металів, що, в свою чергу, сприяє зміцненню отриманої маси.

Розроблений спосіб є, на наш погляд, найбільш раціональним не тільки з точки зору зняття гостроти ситуації щодо ТПВ на міському звалищі, але і з точки зору його доступності. Вирішення проблеми міського звалища у такий спосіб не потребує складного технологічного оформлення і великих матеріальних затрат. За попередніми оцінками мінімальний необхідний перелік обладнання включає ємність і площадку для прийому і зберігання рідкого скла і місцевої глини або

чітку організацію їх безперебійного постачання на період проведення робіт; змішувачі (бетономішалка, міксер і т. п.); насоси для забору фільтрату і нагнітання гелеутворюючих розчинів в озеро-накопичувач; гумово-металічні рукава або труби ПВХ. Оскільки існує деякий допустимий діапазон оптимальних концентрацій складових гелеутворюючих розчинів, то для їх нагнітання не потрібні складні дозуючі системи.

В цілому запропонований технологічний цикл хімічного закріплення фільтрату міського звалища ТПВ включає такі стадії:

- 1) виготовлення гелеутворюючих розчинів;
- 2) нагнітання їх в озеро-накопичувач.

Стадія 1 передбачає забір фільтрату з озера-накопичувача в ємність змішувача, подачу сюди ж при перемішуванні регламентованої кількості місцевої глини (до досягнення необхідної густини) і необхідного об'єму рідкого скла до утворення однорідної пульпи.

Стадія 2 передбачає нагнітання одержаної пульпи безпосередньо із ємності-змішувача або проміжної ємності (якщо в ній є необхідність) в озеро-накопичувач фільтрату.

Слід звернути увагу також на те, що використання гелеутворюючих розчинів оправдане для фіксації інших токсичних стоків. Особливий інтерес такий підхід може мати для гальваностоків, в першу чергу тих, котрі недоцільно використовувати як сировину для одержання того чи іншого металу.

Таким чином, в Інституті розроблені способи знешкодження вихідних стоків звалища ТПВ, якими є: продукти розкладу органічної складової побутового сміття, збагачені важкими металами, солями, органічними сполуками тощо (фільтрат), та концентрований залишок, який одержують після очищення фільтрату (концентрат). Технологічні вирішення проблеми не потребують значних витрат, в тому числі і капітальних, не супроводжуються утворенням відходів та є екологічно без-

печними. Одержані відповідні матеріали практично водонерозчинні і можуть бути утилізовані безпосередньо на звалищі.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Смирнов Н. Н.** Экология биосферной катастрофы. – М.: Знание, 1988.–64 с.
2. **Барабаш М. Б., Баштанник В. П., Лях И. А.** Экологические проблемы Украины: вопросы и ответы. – К.: Знание, 1989.–48 с.
3. Investigation of the stability of hardened slag paste for the stabilization of wastes containing heavy metal ions // Rha Chong Yoon, Kang Seong Keun, Kim Chang Eun.–2000.–v. 70.–№ 3.–pp. 255–267.
4. Pat. USA N 5569153, A62D 003/00; G21F 009/34. Method of immobilizing toxic materials and resultant products // Mallow, William A., Young, Robert D. - Publ. 29.10.1996.
5. Pat. USA N 5976244, B09B 003/00; A62D 003/00. Fixation of hazardous wastes and related products // Mallow, William A. - Publ. 2.11.1999.
6. **Безрук В. М., Гурячков Н. Л., Луканина Т. М.** Укрепленные грунты. – М.: Транспорт, 1982.–230 с.
7. **Соколович В. Е.** Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980.–118 с.
8. **Халикулов А. И., Ибрагимов М. Н.** Химия в строительстве. – Ташкент: Узбекистан, 1983.–134 с.
9. **Ржаницын Б. А.** Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986.–264 с.