

И.М. АСТРЕЛИН, докт. техн. наук, НТУУ "КПИ", г. Киев, Украина

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ВОДООЧИСТКИ В УКРАИНЕ

В статті гостро поставлено питання щодо масштабів утворення і накопичення в Україні твердих промислових відходів, взагалі, і відходів очищення промислових стічних вод, зокрема. Наведені дані з переліку забруднюючих речовин, що надходять до поверхневих водних джерел України зі зворотними водами. Зроблено аналіз існуючих методів підготовки до переробки і утилізації осадів очищення промислових стічних вод. Приведені приклади розроблених в НТУУ "КПИ" ефективних технологій утилізації нових осадів очищення стічних вод ряду промислових підприємств України. Зроблені висновки про гостру необхідність корегування системи підготовки фахівців хіміків-технологів у напрямку озброєння їх сучасними знаннями щодо екологічно і економічно обумовленого поводження з відходами виробництва.

In article the attention to the question on scales of formation and accumulation in Ukraine industrial solid wastes, in general, and a waste after purification of industrial sewage, in particular is sharply brought. The list of polluting substances arriving in superficial water sources of Ukraine with return water is cited. The analysis of existing methods for preparation of the deposits formed at clearing of industrial sewage for processing and recycling is made. Examples of effective technologies developed in NTUU "KPI" for recycling new and inveterate deposits of sewage treatment of some industrial enterprises of Ukraine are resulted. Conclusions about acute necessity of updating for system of preparation of specialists chemists-technologists for obtaining by them of modern knowledge concerning ecologically correct handling with industrial wastes are drawn.

Проблемы взаимодействия природы и человека в условиях научно-технического прогресса привлекают всеобщее внимание, и это закономерно. Рост населения Земли, необходимость удовлетворения его возрастающих потребностей обуславливают интенсификацию промышленности и агросектора, что во все большей степени нарушает природное равновесие.

Сейчас проблемы экологии должны интересовать каждого жителя Земли. Экология стала покаянием человечества, которое долго действовало по принципу "Там посмотрим", а теперь, наконец, не только раскаивается, но и наказывается за свои деяния, имеющие следствием ухудшение жизни всего живого на планете. Лозунг сегодняшнего дня – "Природу надо охранять!" – в буквальном смысле означает – сохранить и резервировать нормальное состояние природы.

В то же время непрерывно возрастающая хозяйственная деятельность

людей набрала такой силы, что на современном этапе она составляет ~ 10 % производительности всей биосферы Земли и охватывает 61 % поверхности земной суши. Иначе говоря, техногенное и антропогенное влияние на биосферу стало уже планетарным фактором, который по своей мощности можно сравнить с глобальными факторами космического влияния и природного планетарного энергооборота.

Действительно, сильнейшее антропогенное воздействие испытывают в настоящее время практически все экосистемы планеты, изменениям подвергаются компоненты атмосферы, литосферы и гидросферы, интенсивность и спектральный состав солнечной радиации, энергетический баланс Земли. Это означает, что промышленный прогресс одновременно с материальными благами и комфортом приносит нарастающее загрязнение среды, разрушение природных комплексов, истощение природных ресурсов.

Известно, что промышленная деятельность людей на пути к конечной продукции ведет к образованию приблизительно 25 кг отходов на 1 кг продукта потребления. В мире добывается более 300 млрд. т. сырья (не учитывая воду). Если исходить из усредненных коэффициентов полезной переработки сырья (0,02 – 0,04), то количество отходов приближается к количеству добытого сырья. Сухая статистика показывает, что в мире ежегодно на душу населения добывается 45 т сырья, которое с помощью 800 м³ воды и 3 кВт энергии преобразуется в конечную продукцию и почти такое же количество отходов (43 – 44 т).

Более 90 % всей массы этих отходов приходится на твердые и шламоподобные отходы, из которых 0,23 – 0,25 % относится к первому классу опасности (токсичности), в развитых странах – 1,16 – 1,20 %.

Чаще всего отходы поступают в места их хранения/захоронения, которые расположены не только на площадках их "производителей". Только недавно появились требования "производитель отходом платит за них", и за много лет в разных странах образовались многочисленные накопители отходов, которые стали источником опасности для человека и окружающей среды.

Близка к критической экологическая ситуация, которая сложилась в Украине в сфере обращения с твердыми отходами вследствие накопления больших их объемов и отсутствия на протяжении длительного времени адекватной реакции на создаваемую ими опасность.

Действительно, если к твердым отходам отнести также и отходы, близкие к ним по консистенции (полусухие, шламообразные), то их в Украине в данное время накоплено более 31 млрд. т [1], в том числе весьма токсичных.

Ежегодно этот огромный "мусорник" увеличивается на 1,7 – 1,8 млрд. т (табл. 1). В жилищном секторе ежегодно скапливается более 11 млн. т твердых бытовых отходов (половина из них, кстати, – это вторсырье, которое можно использовать для вторичной переработки и утилизации). В результате модуль техногенной нагрузки (по твердым отходам) на единицу площади Украины составляет более 60 тыс. т/км².

Таблица 1

Среднегодовой показатель (за последнее десятилетие) образования твердых промышленных отходов в Украине [1]

Промышленный комплекс	Количество образующихся твердых отходов, млн. т/год
Металлургический	1165 – 1228
Энергетический	266 – 276
Строительный	242 – 250
Химический	60 – 80
Машиностроительный	8,5 – 9

Сравнение с другими странами в этом плане просто разительно: в США – 7,4 тыс. т/км³, в странах ЕС (в среднем) – 7,1 тыс. т./км², в Российской Федерации – 4,1 тыс. т/км² (правда, за счет большой территории). Это и понятно: в США и странах ЕС уровень утилизации твердых промышленных отходов составляет 65 – 85 % от их новообразования, а в Украине – от 1 до 8 – 12 % (редко 20 %). Остальное складывается в поверхностных хранилищах и накапливается в шламонакопителях, терриконах, золоотвалах и т.д., общая площадь которых превышает уже 190 – 200 тыс. га часто потенциально плодородных пахотных и пастбищных земель. Правда, для объективности следует отметить, что проблема утилизации твердых промышленных отходов в определенной мере решается в развитых странах для "новых" отходом. Уничтожение же "месторождений" старых могильников требует сложной работы и сотен миллиардов долларов.

В Украине же накопление (без существенной утилизации) твердых промышленных отходов привело к следующей прогрессии: если в 1980 году на одного жителя приходилось 240 т накопленных отходов, то в 1990 г. – 318 т, в 2004 г. – 533 т, в 2008 г. – более 670 т.

С тревогой следует также отметить, что значительная часть (до 15 %) накопленных твердых промышленных отходов (4,9 – 5,1 млрд. т) является в той или иной мере токсичной. Их ежегодное накопление составляет до 136 млн. т, из них примерно 3,55 млн. т – I – III классов опасности по европейским стандартам (табл. 2).

Таблица 2

Среднегодовое (за последние 8 лет) образование твердых токсичных отходов в Украине

Класс опасности	Образование, тыс. тонн
I класс опасности	33,2
II класс опасности	701,7
III класс опасности	2815,1
IV класс опасности	133080,6
Всего	136630,6

Отходы I – III классов опасности содержат свинец, хром (VI), кадмий, марганец, арсен, кобальт, медь, фтор, ванадий и др.

Отдельного внимания экологов и химиков-технологов заслуживает буквально бурно возрастающее в Украине накопление разнообразных осадков и других отходов водоподготовки и очистки промышленных сточных вод. Промышленные предприятия являются не только мощными потребителями свежей воды, но и "производителями" большого количества сточных вод, которые характеризуются высоким уровнем загрязнения.

Ежегодно в Украине в промышленном, сельскохозяйственном и бытовом секторах образуется 3,5 млрд. м³ (3,5 км³!) сточных вод (превалируют промышленные сточные воды, поскольку в быту образуется не более 25 млн. м³ стоков) [2]. Это – огромное количество, принимая во внимание, что пресноводные ресурсы Украины не превышают 95 млрд. м³ (95 км³).

Для сравнения, в Российской Федерации среднегодовой сброс в водоемы загрязненных стоков составляет ~ 18 млрд. м³ [3], а ресурсы пресной воды оцениваются в более чем 4000 км³ (в 42 раза больше, чем в Украине).

Отметим, что около 25 – 27 % сточных вод сбрасываются в отечественных реалиях в поверхностные водоемы без какой-либо очистки или с ненадлежащей очисткой. В результате в реки и моря Украины ежегодно поступают с возвратными водами большие количества тяжелых металлов, минеральных и органических загрязняющих веществ (табл. 3 и табл. 4).

Таблица 3

Поступление отдельных тяжелых металлов и минеральных
загрязняющих веществ в реки и моря Украины с возвратными водами
(в среднем за год) [5]

Водоёмы	Тяжелые металлы, кг					Минеральные загрязняющие вещества, тыс. т			
	Cr	Ni	Cd	Mn	Pb	взвешен. вещества	сухой остаток	сульфаты	хлориды
р. Северский Донец	04	50	3	78	07	10,6	03,9	255,2	47,9
р. Лугань	59	94	-	92	-	2,5	234	81	40,6
р. Казенный Торец	79	98	5	17	3	1,9	83,4	54	29
р. Оскол	-	3	-	-	5	0,1	5,6	1,1	1,5
р. Уды	44	15	-	-	-	2,6	201	50	25,5
р. Кальмус	88	132	4	05	95	7,3	655	370	677
р. Миусс	40	889	1	00	52	5,5	401	142	41
р. Крынка	12	815	5	55	80	4,0	226	85	23
р. Молочная	2	-	-	-	-	0,1	11	2,1	2,3
р. Салгир	-	-	-	-	-	1,0	25	8	4
р. Западный Буг	2	1	5	5	5	3,0	156	20	22
р. Днепр	06	370	40	00	89	30,2	576	330	451
р. Ингулец	48	81	8	10	9	1,7	678	87	272
р. Самара	54	814	8	03	35	3,4	321	103	60
р. Ворскла	-	76	-	6	-	0,5	31	3,3	8,2
р. Псёл	-	58	-	-	-	0,6	40	6,0	6,2
р. Сула	-	5	-	-	-	0,2	10	1,0	3,1
р. Рось	-	-	-	-	-	0,3	8	1,0	2,0
р. Десна	-	50	-	47	-	1,1	30	1,8	3,3
р. Припять	5	57	12	12	51	1,5	40	6,5	8,4
р. Днестр	8	52	-	-	-	3	120	18	32
р. Дунай	50	98	0	0	46	3,5	47	7	12
р. Прут	48	92	-	-	50	1,0	14	2	4
р. Тиса	-	-	-	-	-	0,9	16	1,8	2,6
р. Южный Буг	-	07	2	2	3	2	66	20	17
р. Ингул	-	-	-	-	-	0,5	25	4	3,9
р. Синоха	-	-	-	-	-	0,2	8,3	1,4	1,5
Азовское море	-	53	-	-	00	0,9	150	61	40
Черное море	-	-	-	01	-	3,6	158	11	20

Таблица 4

Поступление отдельных органических загрязняющих веществ
в реки и моря Украины с возвратными водами (в среднем за год) [5]

Водоемы	БПК, тыс. т	Фено- лы, т	Нефте- про- дукты, т	В составе органических веществ						
				Нит- риты, тыс.т	Азот аммо- ний- ный, тыс.т	Нит- раты, тыс.т	Со, кг	Fe, т	Сu, т	Zn, т
р. Северский Донец	7,7	1002	191	1	1,5	15,7	258	174,1	4,8	1,2
р. Лугань	1,5	4,4	13	0,1	0,4	1,5	-	32,9	0,2	-
р. Казенный Торец	1,1	165	18	-	0,2	2,3	5	20,4	-	0,4
р. Оскол	0,2	-	2	-	-	0,1	-	0,8	-	0,1
р. Уды	3,5	21	152	0,2	0,5	8,9	-	70,0	4,1	-
р. Кальмус	2,3	267	64	0,2	0,5	8,1	780	129	4,8	10,1
р. Миусс	1,8	265	32	0,2	0,3	2,4	1066	84	0,8	3,1
р. Крынка	1,4	252	30	0,1	0,2	2,0	901	71	0,8	2,8
р. Молочная	0,2	-	-	-	-	0,6	-	1,8	-	-
р. Салгир	1,0	-	2	-	0,2	1,2	-	1,5	0,6	-
р. Западный Буг	2,0	61	1	-	0,2	1,1	-	115,6	0,2	-
р. Днепр	21	1130	24	1,2	5,3	32,4	86	648	9,4	19,6
р. Ингулец	1,3	4	463	0,2	0,2	2,9	-	64	0,4	-
р. Самара	2,8	65	59	0,1	0,5	1,7	88	241	0,6	2,5
р. Ворскла	0,3	-	131	-	-	0,7	-	15	0,2	-
р. Псёл	0,6	-	1	-	0,2	1,2	-	9,3	-	1,2
р. Сула	0,2	-	2	-	0,1	0,1	-	3,6	-	-
р. Рось	0,3	-	0,1	-	-	0,7	-	3,0	-	0,5
р. Десна	1,0	3	6	-	0,4	0,5	-	16,8	0,4	0,1
р. Припять	2,0	276	1	0,1	0,6	2,3	-	54,5	1,7	1,0
р. Днестр	3,1	83	15	0,1	0,8	1,4	-	25,7	0,1	0,1
р. Дунай	1,9	1	9	-	0,5	0,7	-	2,8	0,1	0,3
р. Прут	0,9	-	2	-	0,1	0,2	-	2,8	0,1	0,4
р. Тиса	0,9	1	2	-	0,3	0,5	-	-	-	-
р. Южный Буг	1,9	-	20	0,1	0,5	1,5	-	28	0,3	0,8
р. Ингул	0,6	-	7	-	0,1	0,7	-	11	-	-
р. Синоха	0,2	-	2	-	-	0,1	-	1,5	-	-
Азовское море	0,8	6	14	-	-	2,7	-	26,9	0,4	4,5
Черное море	5,8	1	24	0,1	1,5	2,2	-	22,0	0,1	-

Как следствие, поверхностные водные источники становятся все более загрязненными и использование из них воды для промышленных, энергетических, бытовых и др. потребностей обуславливает необходимость во все более сложной и затратной очистке.

Вообще, среди угроз национальной безопасности, которые определены в статье 7 Закона Украины "Об основах национальной безопасности", существенное ухудшение экологического состояния водных бассейнов, снижение качества воды в системах жизнеобеспечения и в экономической сфере на сегодня являются реальными и приближающимися к критическим показателям [4]. Таким образом, изучение антропогенной изменчивости водных экосистем, выявление условий и направлений развития кризисных негативных процессов в водной среде, способности экосистем к восстановлению при крайне необходимом снижении антропогенных нагрузок на них являются актуальнейшей задачей современной прикладной экологии, научной и технологической основой для прогнозирования и ограничения техногенного влияния на биоту.

В решении экологической проблемы водоподготовки и очистки сточных вод в зарубежной и отечественной практике разрабатывается и применяется множество способов: реагентно-осадительных, коагуляционных, электрохимических, сорбционных (с применением активных углей, цеолитов, брусита $Mg(OH)_2$, полукокса, клиноптилолита, вспученного перлита, бентонитов, каолинитов, гранулированного сапропеля, шунгита, дифосфатов цветных металлов и др.), электрокаталитических, фотохимической деструкции, ионной флотации, флотоэкстракционных, электрофлотационных, импульсных электроразрядных, ионообменных, баромембранных (обратный осмос, микро-, ультра- и нанофильтрация), биохимических, биосорбционных и др.

Однако, все эти технологические способы, выполняя благодарную работу водоподготовки и водоочистки, не могут, естественно, находиться вне рамок одного из фундаментальных экологических законов "Чтобы одно очистить, другое надо загрязнить", т.е. нежелательным, но неизбежным побочным продуктом водоочистных технологий являются отходы. Их удельный выход, консистенция, физико-химические свойства, состав определяются известными факторами и являются весьма разными из-за разнообразия отходов (твердых, обводненных, шламовых осадков, отработанных сорбентов, регенерационных и промывочных вод, концентратов мембранных процессов и др.). В конечном виде эти отходы предстают, чаще всего, в виде влажных или

шламоподобных осадков, транспортируемых в отвалы, наличие которых негативно влияет на окружающую среду. Общий объем накопленных подобных отходов достигает в Украине 5 млрд. т, а их отвалы занимают площадь более 33 тыс. га, и только от 3 до 5 % отходов используется как вторичное сырье, а остальное продолжает накапливаться [6].

Проблема образования и накопления осадков обработки промышленных стоков с той или иной степенью остроты стоит и перед другими странами.

Так, в Российской Федерации ежегодно образуется более 2,1 км³ таких осадков со средним содержанием взвеси 5 г/дм³, а по полной технологической программе: кондиционирование – обезвоживание – сушка обрабатывается не более 8 % осадков (полезно используется не более 2 % по сухому веществу) [7].

Не касаясь отдельной, тоже достаточно острой, но одновременно не в пример более интенсивно разрабатываемой проблемы накопления и утилизации осадков после очистки бытовых сточных вод, констатируем, что переработка отходов очистки промышленных стоков (чаще всего, сильно обводненных) является в современных вариантах трудоемким, затратным, но безусловно необходимым процессом.

Утилизационная обработка осадков производственных сточных вод действительно является одной из технологически сложных и дорогостоящих частей очистных комплексов. Она включает кондиционирование, обезвоживание, обеззараживание (при наличии токсичных, особенно органических ингредиентов), сушку, окускование (при необходимости), кондиционирование и использование высвобождающейся из осадков воды и собственно полезную переработку или экологически приемлемое уничтожение. Общепринято, что стоимость установки для обработки осадков составляет 50 – 70 % стоимости всего очистного комплекса.

Кондиционирование осадков обычно применяется перед их обезвоживанием на сепарирующих аппаратах. Этим улучшается водоотдача шламовых осадков за счет разрушения сольватного слоя агломератов путем введения известкового молока, извести-пушонки (0,5 – 2,0 % по СаО от сухого вещества осадка), коагулирующих солей алюминия или железа, флокулянтов. Для упрочнения структуры осадков, стимулирования постоянства пористости с целью улучшения параметров процессов фильтрации и снижения удельного сопротивления шламов в них вводят различные минеральные грубодисперсные присадки (доломит, вермикулит и др.).

Наибольшее применение в практике механического обезвоживания осадков сточных вод нашли барабанные (реже ленточные, дисковые, карусельные) вакуум-фильтры, фильтр-прессы различных конструкций (обезвоживание осадков под давлением), центробежное оборудование – центрифуги и сепараторы. Достигаемая величина удельной производительности в пределах $4 - 5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ по сухому веществу при фильтрационном обезвоживании осадков при исходной влажности $94 - 98 \%$ (влажность обезвоженного осадка-кека $45 - 65 \%$) является вполне приемлемой. Важно, чтобы осадки были эффективно кондиционированы и обезвожены до состояния, обеспечивающего необременительную транспортировку к месту утилизации.

Более сложным представляется процесс подготовки для переработки "старых" шламов-осадков (с последующей рекультивацией полигонов) путем гидроразмыва осадков специальными составами (щелочной суспензией), обработки пульпы специальными минеральными реагентами, организации массива отработанных осадков с последующим гравитационным сжатием и повышением их дренируемости (трансформированный осадок может иметь остаточную влажность $35 - 45 \%$ и подвержен уплотнению и литификации).

Другим методом рекультивации полигонов может быть использование специальных геомембран с созданием несущего слоя на поверхности полигона с обустройством дренажа для отвода воды и газов.

По нашим, весьма приблизительным подсчетам, с ориентацией на существующие методы хотя бы частичной утилизации (до уровня передовых стран) осадков промышленных стоков в Украине следует осуществить капитальные вложения в размере до 30 млрд. евро (360 млрд. грн. в ценах 2010 года) в течение 20 лет. Это непосильное для экономики Украины финансовое бремя можно, конечно, облегчить путем существенного уменьшения водопотребления в промышленности и в жилищном секторе (в Украине, например, на душу населения производят 520 л/сутки вода, а в Германии, Венгрии, Чехии – менее 100), а также созданием новых, эффективных технологий переработки осадков производственных стоков.

В качестве примера одного из таких решений можно представить разработанную в НТУУ "КПИ" технологию регенерации железных или алюминиевых коагулянтов из осадков коагуляционной очистки загрязненных поверхностно-активными веществами (ПАВ), органическими красителями и взвешенными примесями сточных вод (такие воды особенно характерны для текстильных предприятий Украины) [8].

Сточные воды текстильных предприятий загрязнены обычно красителями и ПАВ (табл. 5).

Таблица 5

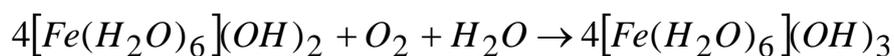
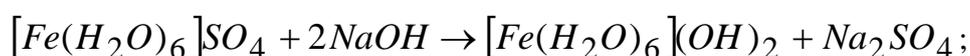
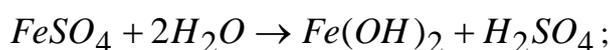
Типы основных загрязнителей сточных вод текстильных производств

Компоненты	Концентрация компонентов, мг/дм ³
Красители:	
- активные	5 – 10
- прямые	20 – 40
- дисперсные	10 – 15
- кислотные	5 – 10
Поверхностно-активные вещества:	
- анионного типа (АПАВ)	8,0
- катионного типа (КПАВ)	4,5
- неионогенные (НПАВ)	1,5

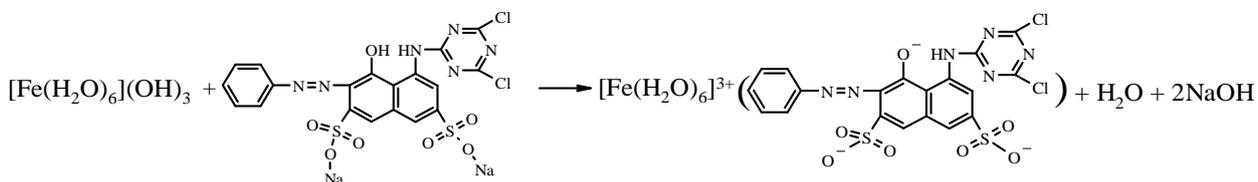
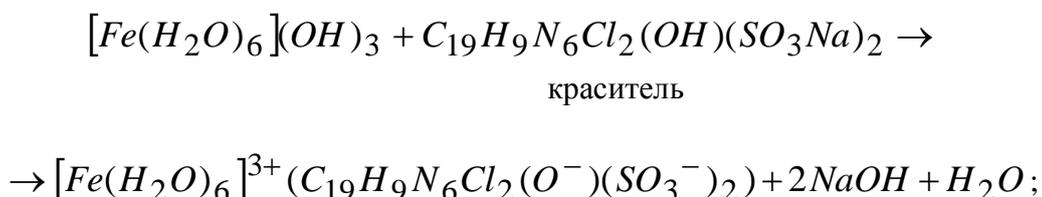
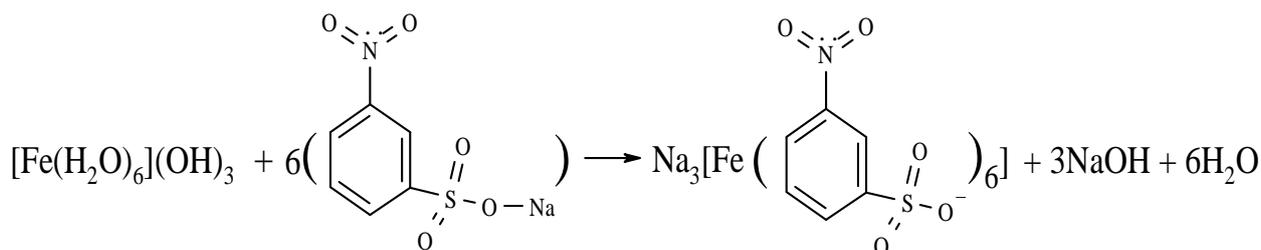
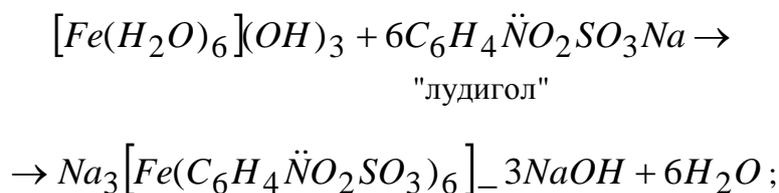
Для дестабилизации стойкой коллоидной системы таких вод наиболее применяемыми являются коагуляционные методы (коагуляторы $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $AlCl_3$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ и др.), поскольку они, кроме обесцвечивания воды, уменьшения показателей химического и биологического потребления кислорода, позволяют удалять стабилизированные коллоидные примеси.

Реальные сточные воды были загрязнены (суммарно 57 – 60 мг/дм³) такими ПАВ как: "лудигол"-*m*-нитробензолсульфат натрия, $C_6H_4NO_2SO_3Na$; "метаупон" – натриевая соль *N*-метилутарината жирной кислоты $RCON(R')CH_2SO_3Na$; "синтанол" – смесь полиэтиленгликолевых эфиров синтетических первичных спиртов фракций C_{10} - C_{18} , $C_{10}H_{21}O(C_2H_4O)_{10}H$ и др., а также органическими красителями – активным ярко-красным 5 СХ, $C_{19}H_{11}O_3N_6S_2Cl_2Na_2$; дисперсным серым полиамидным; прямым зеленым (1,2; 4,5; 7,8 мг/дм³ соответственно).

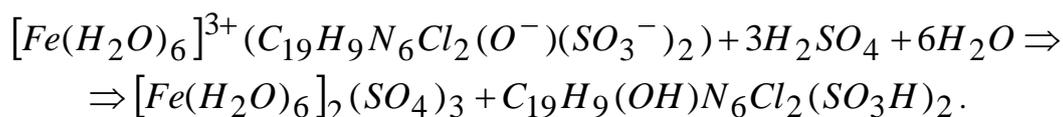
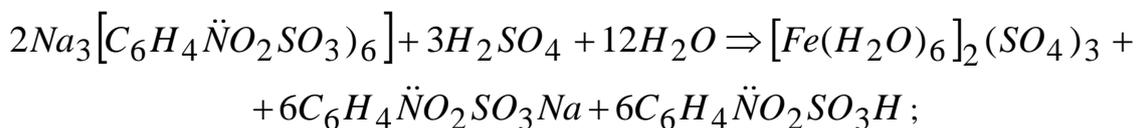
Химико-технологические основы способа заключаются в том, что после известной конверсии коагулянта (на примере $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, доза 100 мг/дм³ в пересчете на Fe) в присутствии специально вводимой щелочи:



происходит взаимодействие железа (III) гидроксида (аквакомплекса) с ПАВ и красителями (приводим пример "лудигола" и активного ярко-красного 5 СХ соответственно):

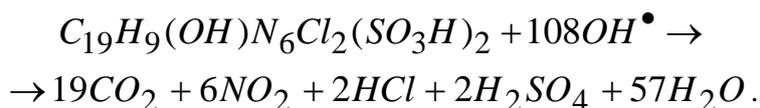
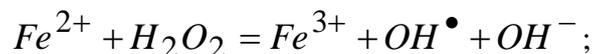
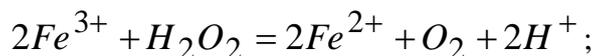


Затем железоорганический осадок обрабатывается серной кислотой с регенерацией коагулянта в виде сульфата железа (III) и выделением жирных кислот и красителей:

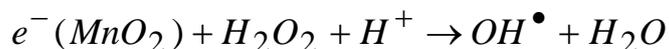
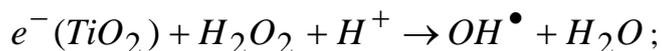


Органическая часть системы окисляется (обезвреживается) реактивом

Фентона, модифицированного TiO_2 и/или MnO_2 – $[H_2O_2]$ / $Fe^{2+}(Fe^{3+})$ / $TiO_2(MnO_2)$, при интенсификации процесса воздействием УФ-облучения:



Введение оксидов TiO_2 и/или MnO_2 (до 50 мг/дм³) в окислительную систему $[H_2O_2]$ / $Fe^{3+}(Fe^{2+})$ / УФ способствует ускорению стадии образования гидроксид-радикалов за счет эмиссии электронов с поверхности этих металлов:



и за счет их высокой каталитической активности.

Отмечено, что для окисления органического углерода на 99 % указанной окислительной системой достаточно 15 мин.

Принципиальная технологическая схема процесса представлена на рис. 1. Регенерированный коагулянт, к которому добавляется 10 – 15 % свежего $FeSO_4$, направляется на очистку исходной сточной воды.

Во многоступенчатом рецикле коагулянт обеспечивает на 97 % обесцвечивание загрязненной воды.

Разработанная технология малоотходной очистки испытана в опытно-промышленном варианте в ООО "ЭКОХИМ-ИНЖИНИРИНГ". Рассчитанный экономический эффект от возврата коагулянта в рецикл составляет около 100 тыс. грн./год. при производительности по загрязненной воде 1000 м³/сутки, а предотвращенные экологические убытки – около 2,7 млн. грн./год. за счет уменьшения объема осадков водоочистки приблизительно в 10 раз и обезвреживания их токсичных ингредиентов.

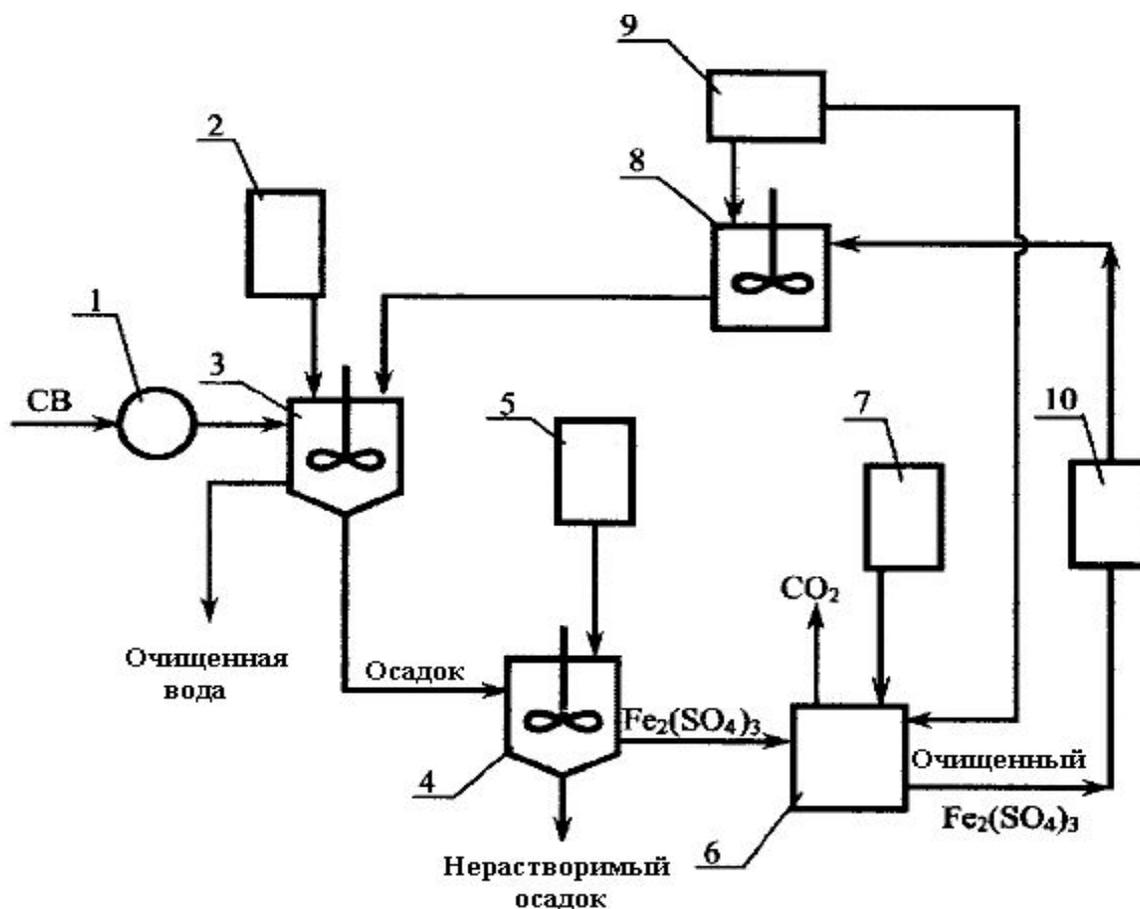
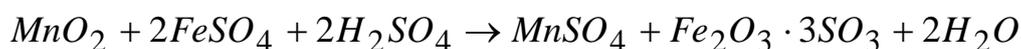
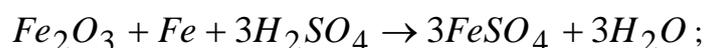


Рис. 1. Технологическая схема малоотходной технологии очистки сточных вод коагуляционным методом:

1 – коллектор; 2 – бак NaOH; 3 – отстойник; 4 – реактор; 5 – емкость серной кислоты; 6 – реактор фотокаталитической обработки; 7 – бак H₂O₂; 8 – смеситель; 9 – бак FeSO₄; 10 – емкость для сбора регенерированного коагулянта Fe₂(SO₄)₃.

Примером успешной утилизации накопленного затвердевшего осадка очистки сточных вод является разработанная в НТУУ "КПИ" [9] технология конверсии такого отхода отечественного производства гидрохинона, имеющего (отход) специфический состав (табл. 6), в ценный кондиционный MnSO₄·5H₂O и сырье для получения керамических изделий и минеральных пигментов.

Процесс основан на сернокислотной (20 %-ный раствор H₂SO₄) обработке осадка в мягких условиях (90 – 100 °С) с использованием реакционной способности ряда примесных компонентов шлама (С, Fe, FeSO₄, C₆H₆O₂):



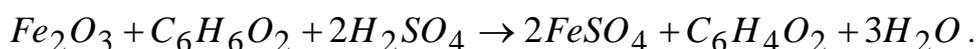
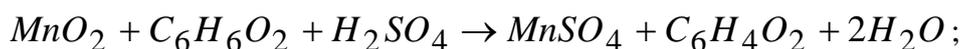
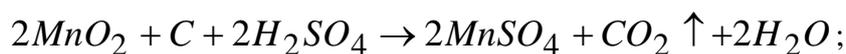


Таблица 6

Минеральный состав осадка очистки сточных вод
производства гидрохинона

Компонент	Содержание в осадке, масс. %
MnO ₂	26,96
MnSO ₄	0,05
MnO	1,13
CaSO ₄	2,45
C (уголь)	3,29
SiO ₂	23,37
Fe (металлическое)	1,10
Fe ₂ O ₃	14,06
FeSO ₄	0,07
Al ₂ O ₃	2,26
SrSO ₄	1,1
C ₆ H ₆ O ₂ (гидрохинон)	1,0
Продукты поликонденсации гидрохинона	1,2
Вода	18,5

Транспортировку осадка из при заводского шламохранилища удалось осуществить поршневым шламовым насосом после экономного размыва уплотненного отхода.

Вторичный нерастворимый шламовый осадок сернокислотного выщелачивания отхода, состоит, в основном, из сложных оксидов кремния, кальция, железа, алюминия и солей ряда примесей металлов (бария, никеля и др.).

Результаты испытания этого осадка в качестве добавки (до 15 – 30 %) к глинистым материалам показали ее эффективность в производстве строительной керамики (кирпичей марок 100, 125 и 150 по ДСТУ 530-95 и ДСТУ 7484-78 "Кирпичи и каменные керамические изделия").

Соединения железа (с доокислением Fe²⁺ до Fe³⁺ небольшим количеством H₂O₂) и сопутствующие примеси выделяли из сернокислотного раствора осаждением суспензией мела (при pH = 4,5).

Осадок, полученный при очистке от примесей раствора MnSO_4 , соответствует по качественным показателям железокальциевому пигменту "искусственная охра".

Товарный $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, соответствующий ГОСТ 435-77 квалификации "ч" (97,6 % $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ при норме не менее 96,0 %), получили кристаллизацией и перекристаллизацией из суспензии $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ при температуре 13 °С.

Технологическая схема утилизации марганецсодержащих отходов представлена на рис. 2

Экономический эффект переработки 160 тыс. т накопленных марганцевых отходов с получением $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (исходного материала для производства электролитического MnO_2) составляет около 6 млн. грн.

В НТУУ "КПИ" также разработаны, испытаны или внедрены технологии синтеза разнообразных пигментов марок К 1-10, К 2-6, В 1-11, С 2-8 и др. шпинелеобразного состава на основе гальванических шламов (после выделения из них меди) [10], улучшенных гипсовых вяжущих (марка ГВФ-5, ДСТУ Б.В. 2.7-4-93) из фосфогипса и отработанных керамической промышленностью гипсовых форм в аппарате псевдоожиженного слоя при введении в исходные отходы комплексной добавки (5 – 7 %) состава $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2 +$ карбоксиметилцеллюлоза [11].

С эффектом сокращения на 10 – 40 % сточных вод разработана технология и внедрены в серийное производство катионнообменные установки умягчения воды средней мощности для теплотехнических целей [12].

Отходы вообще и, в частности, отходы очистки многотоннажных промышленных сточных вод опасны для биосферы, финансово обременительны для предприятий. Можно утверждать, что образование не утилизируемых отходов является следствием не вполне ответственного, отчасти, беззаботного хозяйствования и ведет к истощению природных ресурсов.

Таким образом, со всей актуальностью стоит вопрос о "новой технологической революции" в процессах, протекающих с образованием отходов, и в процессах утилизации "старых" и "новых" отходов.

Все это настоятельно требует, среди прочего, нацеленной коррекции системы подготовки специалистов, прежде всего, химико-технологического профиля, подключения к соответствующему научному направлению ученых-химиков-технологов, широкой разъяснительной работы и, естественно, "регулирующих" шагов политиков.

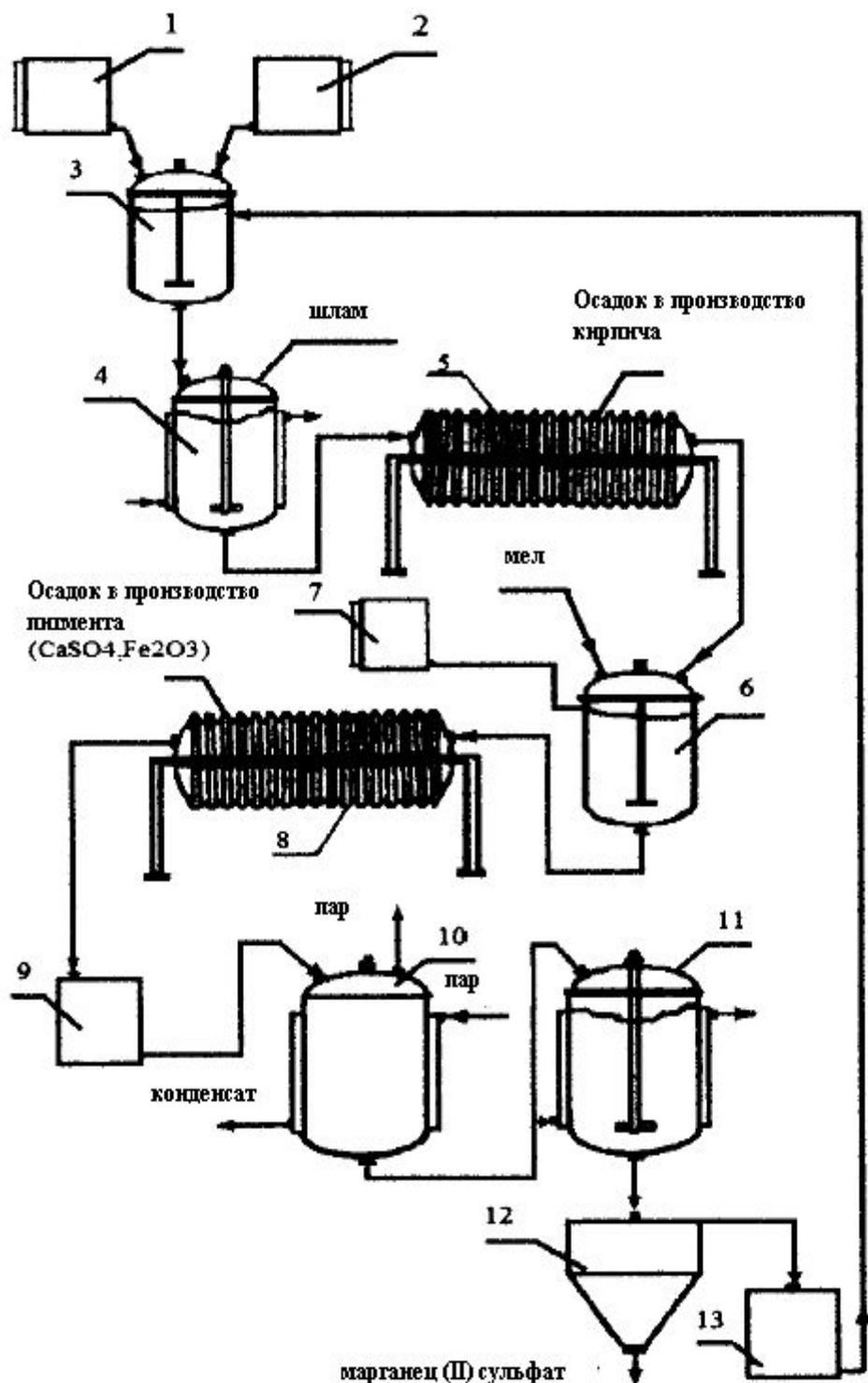


Рис. 2. Технологическая схема переработки твердых Mn-содержащих отходов очистки стоков производства гидрохинона:

- 1 – емкость для воды; 2 – емкость H_2SO_4 ; 3 – бак приготовления раствора H_2SO_4 ;
 4 – реактор; 5, 8 – рамный фильтр-пресс; 6 – реактор очистки раствора сульфата марганца (II) от примесей; 7 – бак раствора пероксида водорода; 9 – промежуточная емкость; 10 – аппарат-кристаллизатор $MnSO_4 \cdot 5H_2O$; 11 – емкость для солеульпы;
 12 – центрифуга; 13 – емкость для маточного раствора.

Список литературы: **1.** Національна доповідь України про гармонізацію життєдіяльності суспільства у навколишньому природному середовищі / під ред. *П.М. Гвоздецького*. – К.: Новий друк, 2003. – 124 с. **2.** *Федорченко Л.М.* Національна стратегія реформування водного сектору України / *Л.М. Федорченко* // Вода і водоочисні технології. – 2002. – № 4. – С. 8 – 12. **3.** *Аксёнов В.И.* Водное хозяйство промышленных предприятий. Кому это интересно? / *В.И. Аксёнов, В.А. Никулин, И.И. Ничкова* // Вода: экология и технология: VII международного конгресс, 30 мая – 2 июня 2006 г.: сб. докладов. – М., – 2006. – Т. 2. – С. 764 – 766. **4.** Закон України "Про основи національної безпеки України" / Відомості Верховної Ради, 2003. – № 39. – С. 351. **5.** Статистичні показники забруднення водних джерел України. – К.: Держстат України, 2007. – С. 109. **6.** *Kosogina S.V.* Regularities of low-waste technology of wastewater treatment by coagulation method / *S.V. Kosogina, I.M. Astrelin, N.A. Klimenko* // Chemistry and Chemical Technology. – 2008. – Vol. 2, № 2. – P. 133 – 138. **7.** *Аксёнов В.И.* Состояние и проблемы обработки и утилизации осадков производственных сточных вод / *В.И. Аксёнов* // Вода: экология и технология: VII международного конгресс, 30 мая – 2 июня 2006 г.: сб. докладов. – М., – 2006. – Т. 2. – С. 815. **8.** Пат. 22607 Україна, МПК (2006) С 02 F 11/14. Спосіб обробки осадків стічних вод / [*І.В. Косогіна, І.М. Астрелін, Н.А. Клименко* та ін.]; заявник та патентовласник НТУУ "КПІ"; заяв. 1.02.06; опубл 15.05.07, Бюл № 5 **9.** Пат. 30448 Україна, МПК (2006) С 22 В 47/00. Спосіб переробки твердих маганвмісних відходів / *О.В. Павленко, І.М. Астрелін, Н.М. Толстопалова*; заявник та патентовласник НТУУ "КПІ"; заяв. 7.03.07; опубл 15.06.08, Бюл. № 4. **10.** Пат. 31122 А Україна, МКІ 6 С 03 С 1/04. Неорганічні пігменти / *О.В. Іванюк, І.М. Астрелін, В.І. Супрунчук*; заявник та патентовласник НТУУ "КПІ"; заяв. 30.03.99; опубл 15.05.00, Бюл. № 7. **11.** Пат. 61752 А Україна, МКВ С 04 В 11/00. В'яжуче. / *І.М. Астрелін, В.П. Сербін, О.С. Птічніков*; заявник та патентовласник НТУУ "КПІ"; заяв. 31.01.02; опубл 11.09.03, Бюл. № 11. **12.** Пат 37156 Україна, МПК (2006) В 01 D 39/00. Спосіб глибокого очищення води від солей твердості / *Т.Є. Мітченко, П.В. Козлов, О.О. Квітка*; заявник та патентовласник НТУУ "КПІ"; заяв. 15.05.00; опубл 15.04.08, Бюл. № 22.

Поступила в редколлегию 22.03.10