

УДК

ЗАМКНУТЫЕ СИСТЕМЫ – ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

© 2011 г. В.И. Аксенов¹, И.И. Ничкова¹, В.А. Никулин², С.С. Пецура², О.Д.
Линников³

¹ *Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н.Ельцина,
г. Екатеринбург*

² *Закрытое Акционерное общество «Химические системы», г. Екатеринбург*

³ *Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, г.
Екатеринбург*

Ключевые слова: водное хозяйство промышленных предприятий, замкнутые системы водопользования, очистка промышленных стоков.

Дан краткий обзор развития замкнутых систем водопользования в отечественной и зарубежной промышленности. Приведены примеры технологических схем обработки промышленных стоков в системах замкнутого водопользования. Проанализирована их структура, дана характеристика составляющих.

В конце XX в. большинство развитых стран мира начали осуществлять переход водного хозяйства (ВХ) промышленных предприятий всех отраслей на замкнутое водопользование. Факторами, обуславливающими начало широкого создания замкнутых систем водопользования (ЗСВ) является, с одной стороны, катастрофическое загрязнение природных водоемов промышленными, бытовыми и сельскохозяйственными стоками вследствие значительного роста производства промышленной и сельскохозяйственной продукции при возрастании потребностей населения и промышленности в чистой воде. С другой стороны, появление разнообразного технологического оборудования (многокорпусные выпарные установки, оборудование обратного осмоса и др.), применение которого позволяет замкнуть цикл водопользования. Сегодня применение ЗСВ является единственным

рациональным решением проблемы использования воды в промышленности. Более того, в перспективе ЗСВ найдут широчайшее применение в коммунальном и сельском хозяйстве, для этого имеются объективные предпосылки. Формально началом такого перехода можно считать 1991 г., когда на всемирном конгрессе энергетиков в Австралии замкнутые системы водного хозяйства (по зарубежной терминологии – предприятия с нулевым сбросом стоков) были провозглашены единственным путем реконструкции ВХ в промышленности [1].

В статье приведены примеры технологических схем обработки промышленных стоков в системах замкнутого водопользования, проанализирована структура, дана характеристика составляющих их инженерных сооружений.

Основное стратегическое направление реконструкции – создание замкнутых систем водопользования. Первая в мире ЗСВ была введена в строй в 1973 г. на Верх-Исетском металлургическом заводе (г. Свердловск), а к 1990 г. на территории бывшего СССР были сооружены более 350 замкнутых систем на предприятиях и промузлах (табл. 1). В период после 1990 г. эта работа, к сожалению, не велась, некоторое оживление стало наблюдаться в начале XXI в., вплоть до экономического кризиса 2008 г.

Таблица 1. Развитие и распространение ЗСВ на промышленных предприятиях СССР (данные 1990 г.)

Отрасль промышленности	Водооборот в отрасли, %	Число предприятий				
		С ЗСВ	Приближающиеся к ЗСВ	С элементами ЗСВ	Создающиеся ЗСВ	С проектируемыми ЗСВ
Черная металлургия	88	24	14	12	9	3
Цветная металлургия	84	15	10	12	1	4
Химическая	83	6	14	10	2	8
Нефтехимическая	89	7	6	5	5	2
Производство минеральных удобрений	88	4	–	1	1	1
Целлюлозно-бумажная	65	3	3	7	1	1
Машиностроительный комплекс	72	13	11	6	11	7
Энергетика	63	17	8	6	–	3
Прочие	–	11	10	11	5	5

Строительство ЗСВ предусматривает: внедрение эффективных, прежде всего, физико-химических методов очистки сточных вод; установление научно обоснованных предельно допустимых концентраций солей, нефтепродуктов и других компонентов в оборотной воде с учетом ее эпидемиологической и токсикологической безопасности для каждого замкнутого цикла; создание максимально возможного количества локальных замкнутых циклов с многократным использованием воды в них; извлечение из сточных вод ценных компонентов; переработку в целях утилизации выделенных осадков и засоленных вод [2–4].

Замкнутые системы водопользования представляет собой химико-технологический комплекс (цех) по производству чистой воды внутри предприятия. В целом, безотходное производство с ЗСВ можно проиллюстрировать схемой, представленной на рис.1. В этом случае ЗСВ является неотъемлемой и одной из главных составных частей любого безотходного производства.

Рис. 1. Технологическая схема безотходного производства с замкнутой системой водопользования.

Отличительной особенностью замкнутых бессточных и безотходных систем водного хозяйства является необходимость иметь в их составе, так называемые хвостовые установки, наличие которых позволяет сделать систему замкнутой. К ним относятся установки переработки и утилизации концентрированных отработанных технологических растворов, обезвоживания и сушки осадков, стабилизационные, биоинженерные, деминерализационные, сжигания, доочистки сбросных продувочных вод. Наличие таких установок усложняет и удорожает систему, которая, по существу, представляет собой химико-технологический комплекс (цех) по производству чистой воды. Кроме повышенных капитальных и эксплуатационных затрат, необходимо высокопроизводительное оборудование (механического обезвоживания, обессоливания и др.), оборудование контроля и автоматического управления технологическим процессом и, главное, высококвалифицированный обслуживающий персонал. В этом случае цех водоснабжения на предприятии становится основным, а не второстепенным.

Организация ЗСВ требует одновременной проработки всех элементов водного хозяйства промышленных предприятий в их взаимосвязи, а не только отдельных частей (чистых и грязных оборотных циклов, локальных сооружений по очистке стоков и др.).

Действительно, в системе очищаются и используются ливневые воды, на хвостовых установках перерабатываются отходы от локальных циклов и др. Все это должно быть увязано в едином хозяйстве. Для создания замкнутой системы необходимы совместные усилия специалистов различных направлений: водников, технологов, экономистов, гигиенистов и др. Первые установки по типу ЗСВ у нас в стране были построены для очистки жидких отходов с низким уровнем радиоактивности, за рубежом – станция доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод на оз. Тахо (США) и комплекс по переработке засоленных шахтных вод в Верхней Силезии (Польша).

Весь опыт строительства и эксплуатации ЗСВ промышленных предприятий и промузлов условно можно разбить на три этапа: 1973–1990, 1991–2000, 2001 – по наше время. Первый этап, особенно 1980-е годы, характеризовался бурным сооружением ЗСВ. Следует отметить, что в этот период создаются достаточно мощные многоцелевые комплексы ЗСВ, успешно работающие и в настоящее время, Строили их, в основном, за счет государства (тогда еще СССР).

Была обоснованная надежда, что к началу нового века положение дел в водном хозяйстве промышленности страны принципиально изменится. Но после распада СССР в 1991 г. практически прекратились работы по созданию ЗСВ. Справедливости ради можно отметить, что определенная работа продолжалась на уральских предприятиях: Первоуральском Новотрубном заводе, Нижнетагильском металлургическом комбинате и др. Однако общая картина от этого не менялась, так продолжалось до 2000 г., когда появились серьезные признаки восстановления промышленности и проявления интереса к созданию ЗСВ. Речь не идет о сооружении крупных комплексов по обработке и повторному использованию всех сточных вод предприятия; для этого нет необходимых средств.

За рубежом строительство ЗСВ началось практически немногим более двадцати лет назад, поскольку считалось, что строго регламентированный сброс очищенных стоков сохранит водоприемники в «первозданной чистоте». Ничего этого не произошло, особенно в перенаселенной Европе, и «регламентированный сброс» срочно сменили на прекращение любого сброса. Следует отметить, что мы прогнозировали такое развитие событий [3].

В российской практике финансовые возможности (вернее, их отсутствие) предприятий точно определили те направления в развитии современных ЗСВ, которые как-то удовлетворяли бы природоохранные требования к промышленности. Стало очевидным что, первоочередное направление работ следует сосредоточить на

локальных замкнутых установках по обработке отработанных концентрированных технологических растворов; сооружениях переработки выделяемых осадков (отходов); установках глубокой очистки продувочных вод; малогабаритных установках очистки и повторного использования особо опасных стоков небольшого расхода [5]. Все эти установки предприятия должны дополнить необходимыми «технологическими приемами»: максимальным использованием оборотного водоснабжения; внедрением способов экономии воды и уменьшения поступления загрязняющих веществ в сточные воды (ванны-ловушки, каскадная промывка, сухие градирни и др.); заменой особо опасных (токсичных) веществ, попадающих в стоки, на менее опасные. Все установки и технологические приемы требуют сравнительно небольших затрат. Выбор таких установок оправдан: так, например, в отработанных растворах и в осадках гальванических производств сосредоточено более 80 % растворимых соединений, поэтому переработка только этих субстанций в значительной мере решает проблему загрязнения окружающей среды.

Технологические схемы обработки стоков и осадков в ЗСВ могут быть разнообразными, но в них как составные части должны применяться многофункциональные блок-модули, которые вошли в практику обработки производственных сточных вод в 1970-е годы и постоянно совершенствуются и внедряются сегодня [6]. Их преимущества – компактность, быстрое действие, умеренные цены и, главное, возможность переработки таких стоков, для которых (при использовании обычной схемы) необходимо строительство сложных и дорогостоящих очистных комплексов. Примерами таких компактных комплексов являются блок «Элион» для гальванических стоков, модули для удаления нефтепродуктов НИИводгео, «Промконтакт», «Сибпроект» и др. Практика показала, действительно, компактные блок-модульные установки хорошо решают отдельные локальные задачи, но они никогда не могут осуществить полную переработку стоков и образующихся осадков с возвратом воды в производство и с утилизацией выделенных загрязняющих веществ (твердых, жидких и газообразных). При этом их дальнейшая разработка и совершенствование должны продолжаться, т. к. они остаются составными частями общих технологических схем обработки стоков.

Блок-модульные установки на промышленных предприятиях рационально использовать, прежде всего, для обработки сложных агрессивных стоков, содержащих ионы тяжелых и цветных металлов, различных маслосодержащих (в том числе окалиномаслосодержащих) стоков, большинства отработанных концентрированных

технологических растворов. На рис. 2 приведена обобщенная технологическая схема обработки агрессивных стоков различного состава.

Рис. 2. Схема модуля обезвреживания агрессивных стоков (узлы: 1 – усреднения–уплотнения стока, 2 – реагентной обработки, 3 – хлопьеобразования, 4 – осветления обработанного стока, 5 – доочистки осветленной воды, 6 – получения чистой воды, 7 – кондиционирования, 8 – механического обезвоживания, 9 – термической обработки; 10 – сборник).

Схема включает следующие узлы: узел усреднения–накопления стока с использованием интенсивного перемешивания воздухом (1); узел реагентной (химической, физико-химической, физической, биотехнологической) обработки стока с разрушением токсичных и выделением в виде взвеси вредных (агрессивных) примесей (2); узел хлопьеобразования (флокуляции) для интенсификации процесса удаления взвеси из стока (3); узел осветления (отстаивания) обработанного стока в скоростных (многополочных) отстойниках (4); узел доочистки осветленной воды на зернистых фильтрах с использованием местных фильтрующих материалов — отходов производства типа шлаков (5). При необходимости получения чистой воды (конденсата) доочищенную воду направляют в выпарную установку (6), а получающийся концентрат – на утилизацию, образующийся при отстаивании осадок – в узел кондиционирования (7), где его, при необходимости, дополнительно обрабатывают реагентами или нагревом. Подготовленный кондиционированный осадок поступает в узел механического обезвоживания (8) на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центробежных аппаратах. Обезвоженный осадок подают в узел термической обработки (9) – сушилку, гранулятор, сборник (10), при необходимости, расфасовывают и отправляют на утилизацию.

Такие схемы внедрены на Верх-Исетском металлургическом, Кыштымском медьэлектролитном заводах и еще на многих предприятиях.

На рис. 3 приведена технологическая схема обработки окалиномаслосодержащих стоков и осадков, часто образующихся на металлургических и металлообрабатывающих предприятиях. Такая схема разработана и предложена для ряда трубных заводов Урала (Синарский трубный завод и др.). В настоящее время эта проблема получила дальнейшее развитие в работах Ю.А. Галкина (Группа компаний «ЭКО-ПРОЕКТ», г. Екатеринбург) [7, 8].

Рис. 3. Технологическая схема локальной замкнутой системы водного хозяйства предприятий черной металлургии и машиностроительного комплекса: I – исходный окалиномаслосодержащий сток; II – рабочий раствор флокулянта; III – всплывающее масло; IV – окалиномаслосодержащий осадок; V – обезвоженный окалиномаслосодержащий осадок; VI – осадок отстаивания флокулированного фугата; VII – концентрат из горизонтально-трубного пленочного испарителя; VIII – осветленный фугат; IX – профильтрованный фугат; X – конденсат в производство; XI – мелкодисперсная прокаленная окалина; XII – сток газоочистки на очистные сооружения; XIII – промывная вода с зернистых фильтров; XIV – осветленная вода в грязный оборотный цикл завода; XV – промывная вода для зернистых фильтров.

1 – радиальный отстойник; 2 – сгуститель; 3 – центрифуга типа ОГШ; 4 – сборник фугата; 5 – зернистый фильтр; 6 – горизонтально-трубный пленочный испаритель; 7 – сборник обезвоженного осадка; 8 – печь псевдоожиженного слоя; 9 – система газоочистки; 10 – узел приема-фасовки мелкодисперсного оксида железа; 11 – сборник отфильтрованного фугата.

Представленные технологические схемы, которые могут быть дополнены и другими узлами, являются основой системы водного хозяйства промышленного предприятия, имеющего соответствующие стоки. Наиболее важными (определяющими) узлами этих схем являются блоки обессоливания (выпарная установка), обработки осадков – механической (обезвоживания) и термической (сушки, прокалки). Именно они позволяют получить замкнутые системы.

Предложенные модули позволяют создавать на различных предприятиях локальные замкнутые системы очистки промышленных вод и повторного использования стоков, которые обеспечат значительную экономию свежей воды при снижении ее потребления до уровня безвозвратных потерь; утилизацию выделяемых из стоков загрязняющих веществ (полезное использование, уничтожение, складирование) и позволят прекратить все сбросы стоков в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.И., Аксенов В.И., Щеклеин С.Е., Подберезный В.Л. и др. Водное хозяйство промышленных предприятий: справочное издание. Книга 4. / под ред. В.И. Аксенова. М.: Теплотехник, 2007, 239 с.
2. Аксенов В.И. Замкнутые системы водного хозяйства металлургических предприятий. М.: Металлургия, 1983, 112 с.
3. Аксенов В.И.. Создание замкнутых систем водоснабжения металлургических предприятий // Сталь, 2005. № 9. С. 83–85
4. Аксенов В.И., Балкирев В.Ф., Филиппенков А.А. Проблемы водного хозяйства металлургических, машиностроительных и металлообрабатывающих предприятий. Екатеринбург: НИСО УрО РАН. 2002. 268 с.
5. Алферова Л.А., Нечаев А.П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. М.: Стройиздат, 1984. 272 с.
6. Аксенов В.И. Использование локальных замкнутых систем водного хозяйства на промышленных предприятиях. Сб. докладов конгресса ЭКВАТЭК-2008, (электронный ресурс) М.: 2008.
7. Галкин Ю.А. Инновационные технологии водоподготовки для основных переделов черной металлургии. Сталь. 2009, № 3. С. 92–93.
8. Галкин А.Ю. Разработка и результаты применения отстойников-флокуляторов для очистки оборотной воды металлургических заводов России и Украины. 2010. № 2. С. 5–9

Сведения об авторах:

Аксенов Валентин Иванович, к. т. н., профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 17, e-mail: anikin-uri@yandex.ru

Ничкова Ирина Ивановна, к. т. н., доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, Екатеринбург, e-mail: anikin-uri@yandex.ru

Никулин Валерий Александрович, к. т. н., доцент, директор по НИР, «Инженерная компания «Химические системы», 620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 37, оф. 402/3, e-mail: va.nikulin@mail.ru

Пецура Сергей Станиславович, ведущий специалист, «Инженерная компания «Химические системы», г. Екатеринбург, e-mail: rescura@k66.ru.

Линников Олег Дмитриевич, к. х. н., ведущий научный сотрудник, Институт химии твердого тела УрО РАН, 620990, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91, e-mail: linnikov@mail.ru.