

А.Ю. ДМИТРИЕВА, студентка

Т.О. ШЕВЧЕНКО, кандидат технических наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Огляд існуючих методів доочистки стічних вод від з'єднань фосфору, запропонована технологія дефосфотації

Ключові слова: фосфор, водоймище, добриво, магнітна сепарація, електрокоагуляція, біосорбція, активний мул, контактний освітлювач, активований розчин реагенту, сульфат алюміній

Обзор существующих методов доочистки сточных вод от соединений фосфора, предложена технология дефосфотации.

Ключевые слова: фосфор, водоём, удобрение, магнитная сепарация, электрокоагуляция, биосорбция, активный ил, контактный осветлитель, активированный раствор реагента, сульфат алюминий

The review of existing methods of additional cleaning of sewage from connections of phosphorus, offered technology phosphorus removal.

Keywords: phosphorus, reservoir, fertilizer, magnetic separation, electro coagulation, biosorption, active sludge, contact flocculator, the activated solution of a reagent, sulphate aluminium

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор входит в двадцатку наиболее распространенных элементов Солнечной системы [1].

Фосфор – важнейший обязательный химический элемент, необходимый для живых организмов и имеет один из самых высоких коэффициентов биоаккумуляции, т.е. действует как удобрение [2].

При попадании фосфора в водоемы увеличивается количество питательных веществ, что вызывает быстрый рост водорослей, особенно сине-зеленных (циановых бактерий), которые нарушают естественную биосистему, извлекают из воды растворенный кислород, изменяют pH, не пропускают солнечных лучей, создают анаэробные условия и приводят к гибели многих живых организмов и накоплению биотоксинов. Вода в таких водоемах становится не пригодной для водопотребления населением и опасной для здоровья и жизни человека [3].

Экологическая наука классифицировала следующие источники поступления фосфора в окружающую среду: коммунальные стоки – 21,1%; моющие средства – 38,8%; сельскохозяйственная деятельность – 18,0%; эрозия почв – 4,7%; сезонная регенерация фосфора из донных минерализованных органических отложений – 12,0%; промышленная деятельность – 3,1%; другие – 5,5 %.

В Украине, по данным научных публикаций, известно, что от сельскохозяйственной деятельности в р. Днепр попадает 6 % фосфора, с коммунальными стоками 75 %, промышленность и другие – 19 % [2].

При очистке сточных вод одной из наиболее актуальных задач является биологическое удаление соединений фосфора.

В настоящее время на сооружениях канализации стоки по фосфатам очищаются недостаточно. Это объясняется отсутствием возможности их полного удаления с помощью существующих технологий. В условиях ужесточения нормативов предельно-допустимого сброса и постоянного роста платы за загрязнение водных объектов наиболее остро стоит проблема обеспечения нормативов по сбросу фосфора [3].

Основная задача, стоящая перед специалистами водного хозяйства, – повышение эффективности работы очистных сооружений и установок. Необходимо добиваться наиболее высокого эффекта очистки сточных вод, сбрасываемых в водоёмы, чтобы предотвратить экологический ущерб, который можно нанести при сбросе в водоёмы недостаточно очищенной воды. Поэтому вопрос о применении более совершенных технологий и сооружений по обработке воды весьма актуален.

В последние два десятилетия в мировой практике в области удаления соединений фосфора из сточных вод достигнуты существенные успехи за счет создания технологических схем и математического описания процессов удаления фосфатов [4].

Ниже приводится анализ основных методов удаления соединений фосфора из сточных вод, представленные в технической литературе.

1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ФОСФОРА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

К основным методам извлечения соединений фосфора из сточных вод относятся:

- физико-механические (магнитная сепарация с максимальной эффективностью удаления фосфора $\mathcal{E}_{\max} = 95\%$);
- физико-химические (сорбция, $\mathcal{E}_{\max} = 99\%$; осаждение с кристаллизацией, $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$; химическое осаждение, $\mathcal{E}_{\max} = 94\%$; ионный обмен, $\mathcal{E}_{\max} = 99\%$; электрокоагуляция);
- биологические (аэробное окисление, $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$; анаэробное восстановление, $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$; биосорбция, $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$).

– комбинированные (биологические с применением коагулянтов и флокулянтов, биолого-химические, $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$; биологические с термической обработкой избыточного активного ила $\mathcal{E}_{\max} = 90\%$).

1.1. Физико-механические методы дефосфотации

Магнитная сепарация

Наиболее распространённым способом ускорения оседания мелких частиц в воде является их флокуляция, которая производится путём добавления в воду соответствующих реагентов (флокулянтов).

Главные недостатки применения флокулянтов:

- загрязнение осветлённой воды реагентами;
- получение желеобразного осадка, что затрудняет его обработку и складирование;
- высокая стоимость ряда флокулянтов.

Исследования показывают, что слипание частиц в воде с последующим их осаждением можно ускорить с помощью магнитной обработки. Недостаток этого метода связан с тем, что в больших объёмах воды сложно создать необходимую индукцию.

Процесс выделения фосфора осуществляется при добавках в сточные воды осаждающего агента – извести, солей железа или солей алюминия. В качестве магнитного материала добавляют ферромагнитный порошок (частицы магнетита). Флокуляция фосфатов осуществляется при подаче высокомолекулярного анионного соединения. В результате образуются нерастворимые флокулы, которые пропускают через электромагнитную систему, где образовавшиеся агломераты задерживаются.

Метод магнитной сепарации позволяет получить остаточное содержание фосфора менее $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Недостатком данного метода является то, что при высокой напряжённости поля порошок магнетита и фосфаты реагируют между собой.

Наибольший эффект достигается в водах с повышенной щёлочностью и содержанием минеральных примесей, при этом расход коагулянта уменьшается в 2-3 раза, а скорость коагуляции увеличивается в 2 раза.

1.2. Физико-химические методы дефосфотации

Сорбция основана на притяжении молекул к поверхности частиц, обладающих избытком свободной энергии.

В качестве сорбентов применяют почву, соединения титана, соединения алюминия, глинистые соединения, шлаки чёрных металлов, цирконий, активированный уголь, синтетические цеолиты, гидроксид железа, оксид магния и др.

Значительное влияние на эффективность процессов сорбции оказывает pH среды. Оптимальные показатели кислотности среды для различных реагентов следующие: сульфат титана pH = 2, активный

алюминий (кислая среда), оксид алюминия рН=6, глина Канума рН=2, активированная глина рН=5,7...8,0, оксид магния рН=2,1...10,3.

Осаждение с кристаллизацией. Этот метод основан на выращивании кристаллов фосфатов в сточных водах на центрах кристаллизации с последующим их удалением из системы [5].

Кристаллизация осуществляется на фильтрах или во взвешенном слое. В качестве затравочного материала используются соединения кальция, соединения гипса и гашёной извести, фторида натрия и гашёной извести, фосфорная руда, костный уголь, магнезиальный клинкер, фторапатит [5].

При использовании соединений гипса и гашеной извести, фторида натрия и гашеной извести, а также магнезиального клинкера остаточное содержание фосфора 0,5 мг/л. Для всех реагентов необходимо наличие щелочной среды [4].

Химическое осаждение нерастворимых соединений фосфора при добавлении различных реагентов.

В качестве коагулянтов применяют: соединения алюминия, железа, новые виды реагентов, например, Зюдфлок, содержащий до 13,0 г/л Al^{3+} , до 7,6 г/л Fe^{3+} , до 5,4 г/л Mg^{2+} , до 6,2 г/л Ca^{2+} и до 0,5 г/л SiO_2^{4+} , ALTON, производимый на основе глинозёма, минералы, гидроксилпатит, в качестве флокулянтов используется полиакриламид [4].

Реагентные методы. Наиболее доступным и легкоосуществимым для очистки больших объёмов сточных вод на действующих городских станциях аэрации считается реагентный метод, предусматривающий использование химических реагентов на различных стадиях очистки.

Реагентный способ нашёл широкое применение в 70-х годах и основан на образовании труднорастворимых соединений солей ортофосфорной кислоты, которые удаляются из воды вместе с осадком и могут использоваться в качестве сельскохозяйственных удобрений.

При осаждении фосфора чаще всего применяются соли железа, сернокислый алюминий, раствор извести в сочетании с флокулянтами.

В качестве алюминийсодержащего реагента используется гидратированный сульфат алюминия (молекулярная масса 666 г/моль), содержащий 8,1% растворимого алюминия.

Сульфат-анион SO_4^{2-} в результате реакции переходит в раствор.

1 моль сульфата алюминия (666 г) реагирует с 2 молями PO_4^{3-} , содержащими 62 г фосфора, с образованием 2 моль $AlPO_4$. Требуемое количество сульфата алюминия на 1 г фосфора может быть получено из молярного отношения $Al : P$ [4].

Ионный обмен – обратимый процесс стехиометрического обмена ионами между двумя контактирующими фазами. Обычно одна из фаз – раствор электролита, другая – ионит.

Практически ионнообменный процесс нельзя считать процессом удаления только одного фосфора, поскольку для его осуществления

необходима тщательная предварительная обработка, благодаря которой предотвращается загрязнение смол органическими соединениями. Создание макропористых смол, которые адсорбируют большое количество органического материала без засорения, а также возможность получения недорогих восстановителей привлекают внимание к этому процессу.

В нём используется находящийся под давлением анионообменник (амберлит IRA-68), который работает в бикарбонатном цикле и регенерируется гидроксидом аммония и диоксидом углерода.

Сходные процессы протекают при использовании других анионов, например, хлорид- и сульфат-ионов. Процесс удаления состоит в том, что сточные воды после первичной обработки поступают в автоклав, а затем под давлением подаваемого диоксида углерода поднимаются вверх по ионообменнику. Когда поглощающая способность ионообменника истощается, производят его регенерацию.

Достоинствами ионного обмена является его высокая эффективность по удалению фосфатов, которая составляет 90...100%. К недостаткам относится необходимость регенерации смол с применением кислот и то, что для полной очистки от соединений фосфора необходимо неоднократное прохождение сточных вод через колонку [4].

В основе *электрокоагуляции* лежит процесс анодного растворения металлов под действием электрического тока. Перешедшие в раствор катионы алюминия и железа гидролизуются и служат активными коагулянтами для дисперсных примесей. В отличие от обычного коагулирования солями железа и алюминия при электрокоагуляции вода не обогащается анионами, что благотворно сказывается на обработке вод, содержащих растворённые загрязнения. Однако в ходе электролиза воды или водных растворов солей происходит выделение значительных количеств газов (водорода на катоде и кислорода на аноде), пузырьки которых вызывают флотацию хлопьев. Вероятность флотации, резко замедляющей осаждение хлопьев в отстойниках или осветлителях, увеличивается с уменьшением содержания взвеси в исходной воде. При электрокоагуляции, в отличие от обработки воды кислыми солями алюминия и железа, происходит некоторое повышение pH среды, благодаря которому в отдельных случаях отпадает необходимость в добавлении подщелачивающих растворов.

Недостатком электрокоагуляции является высокое потребление электроэнергии и потребность в больших количествах вспомогательных реагентов [4].

Доочистка сточных вод методом *электрокоагуляции-флотации* с использованием растворимых алюминиевых анодов с предварительным хлорированием обеспечивает высокий эффект доочистки: достигается снижение содержания взвешенных веществ с 48 до 9 мг/л, БПК₅ – с 15 до 2,8 мг/л, ХПК – с 50 до 12,8 мг/л, NH₄⁺ – с 2,6 до 0,1 мг/л, PO₄³⁻ – с 2,8 мг/л до следовых значений.

Необходимость периодической замены сработанных электродов и дефицитность листового алюминия затрудняют использование метода на станциях большой производительности [5].

1.3. Комбинированные методы дефосфотации

Биологические методы с применением коагулянтов и флокулянтов (биолого-химические). Сущность процесса та же, что и при биологических методах очистки, но с участием реагентов.

В качестве коагулянтов применяют ионы алюминия, железа, кальция. В качестве флокулянта используются полиакриламид, полиэлектролиты.

Значительное влияние на ход процесса оказывает величина pH: ионы двухвалентного кальция и железа обеспечивают эффективное удаление фосфатов только при высоких pH, что не всегда согласуется с требованиями биологической обработки.

Биологические методы с термической обработкой активного ила. Нагревание избыточного ила и отделение твёрдой фазы, содержащей фосфор. Оптимальная температура для нагревания ила 105-110°C.

Отделение твёрдой фазы может вестись центрифугированием, пресс- и вакуум-фильтрованием или гравитационным осаждением.[4]

2. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ

Удаление соединений фосфора путём биологической очистки без применения реагентов является наиболее перспективным: значительно снижаются эксплуатационные расходы на химические реагенты, уменьшается количество образующегося осадка, снижаются транспортные и другие затраты, и в результате происходит снижение химической нагрузки на окружающую среду, так как остатки химических реагентов при сбросе очищенных сточных вод не попадают в водоёмы и на полигоны складирования. Однако эффективность чисто биологических методов удаления фосфатов невысока и, как правило, не превышает 75% [4].

В результате биологической очистки из сточных вод в большей степени изымается легкоокисляемая микроорганизмами растворенная форма ортофосфатов.

В обычных условиях в результате биологической очистки удаляется не более 50% фосфорных соединений (при условии умеренной нитрификации в аэротенках). При этом отношение минерального фосфора к общему в поступающих на очистку водах составляет 0,3...0,6 и значительно возрастает в биологически очищенных водах до 0,7...0,9.

Однако, если на сооружениях применяется технология обезвоживания осадка, то практически весь удаленный биологическим способом фосфор возвращается в очищаемые сточные воды, так как он попадает в надилловые воды, которые направляются в первичные отстойники.

В очищенных водах городских очистных сооружений содержание фосфатов колеблется в пределах 1,5...5,0 мг/дм³.

В аэробных условиях аэротенков полифосфаты и ортофосфаты усваиваются организмами активного ила, а растворенные формы органического фосфора минерализуются в ортофосфаты при помощи бактерий *Moraxella*, *Artrobacter*, *Bacteria subtilis* и т.п.

Определенные группы бактерий активного ила обладают способностью накапливать в своих клетках растворенные формы фосфора, т.е. откладывать в запас для последующего потребления. Таким образом, эти бактерии способны потреблять фосфора больше, чем его требуется на прирост биомассы и энергетические потребности. В литературе в качестве фосфорнакапливающих бактерий упоминается *Acinetobacter*, однако таких бактерий в активном иле довольно много, это как широко распространенные роды: *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Beggiatoa*, *E.coli*, *Aeromonas*, *Zoogloea ramigera*, так и реже встречающиеся: *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Moraxella*, *Mycobacterium* и многие другие.

Кроме того, установлено, что нитрифицирующие бактерии также способны накапливать полифосфаты в составе метакроматиновых гранул.

Все указанные бактерии отличаются от других микроорганизмов активного ила тем, что накопление соединений фосфора в их клетках составляет довольно значительную величину 1...3% сухой массы тела. Так, *Acinetobacter calcoaceticus* накапливает в аэробных условиях 0,4...0,5 ммоль/г сухой массы клетки за 1 ч и в анаэробных условиях выделяет за 1 ч 0,015 ммоль/г сухой массы клетки [6].

За счет депонирования полифосфатов в клетках активного ила из сточных вод изымаются растворимые соединения фосфора. Причем, в обычных условиях полной биологической очистки с последующей нитрификацией, если NO₃-N не более 5...6 мг/дм³, за счет потребления фосфатов бактериями в аэротенках удаляется 10...30% растворенных форм фосфора. При понижении рН сточных вод повышается растворимость фосфатов и усиливаются как изъятие так и накопление в иле и осаждение на нем в результате биофлокуляции, что позволяет достичь в процессе биологической очистки 50% удаления соединений фосфора.

Однако, если в аэробных условиях аэротенков эти бактерии накапливают фосфор, то в анаэробных условиях вторичных отстойников активно выделяют его в воду в результате биохимического процесса.

Остальное количество нерастворимых соединений фосфора улавливается активным илом в результате биосорбции, накапливаясь в избыточном активном иле и с выносом взвешенных веществ из вторичных отстойников попадает в природный водоем, депонируясь в донных осадках.

В процессе биологической очистки в аэротенках при определенных значениях рН и при наличии ионов Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺, Al³⁺ происходит процесс

дополнительного изъятия фосфора, путем образования нерастворимых компонентов.

Поддержание условий для благоприятного протекания анаэробного процесса, таких как наличие восстановителей и полное отсутствие кислорода (даже химически связанного), играет решающую роль в дефосфотации.

На действующих сооружениях биологической очистки достаточно часто наблюдается эффект повышения содержания соединений фосфора в очищенной воде.

Причины этого явления разнообразны, и чтобы их правильно установить, необходим тщательный контроль технологических процессов на каждой стадии очистки, а также анализ полученных результатов измерений гидрохимического качества очистки.

Увеличение количества фосфатов в очищенных водах может происходить по причине повышенного выноса активного ила из вторичных отстойников.

Незначительное накопление фосфатов в биологически очищенных водах может происходить также по причине аммонификации белка в анаэробных зонах различных звеньев очистных сооружений.

При понижении рН в сточных водах растворимость фосфорных соединений повышается, что также объясняет периодическое возрастание содержания соединений фосфора в очищенных сточных водах в период снижения рН при использовании реагентов и флокулянтов или при аварийных сбросах загрязняющих веществ, способствующих понижению рН, например, металлов и кислых растворов [6].

2.1. Технологии на основе биологического удаления фосфора

На рис. 2.1 приведены наиболее распространённые в практике технологические схемы биологического удаления фосфора. Все схемы включают анаэробную и аэробную системы обработки.

В схеме 1 аэробной и анаэробной обработке подвергается смесь рециркулирующего активного ила и очищаемой сточной воды, в схемах 2 и 3 анаэробную обработку проходит только рециркулирующая часть активного ила, причём в схеме 2 в отдельных емкостях, в схеме 3 – в первичном отстойнике специальной конструкции. В схеме 4, в первичных отстойниках осуществляется подготовка необходимого субстрата, обеспечивающего процесс удаления фосфора в аэротенках. На рис.1 представлены схемы совместного биологического удаления азота и фосфора, которые получили значительное распространение.

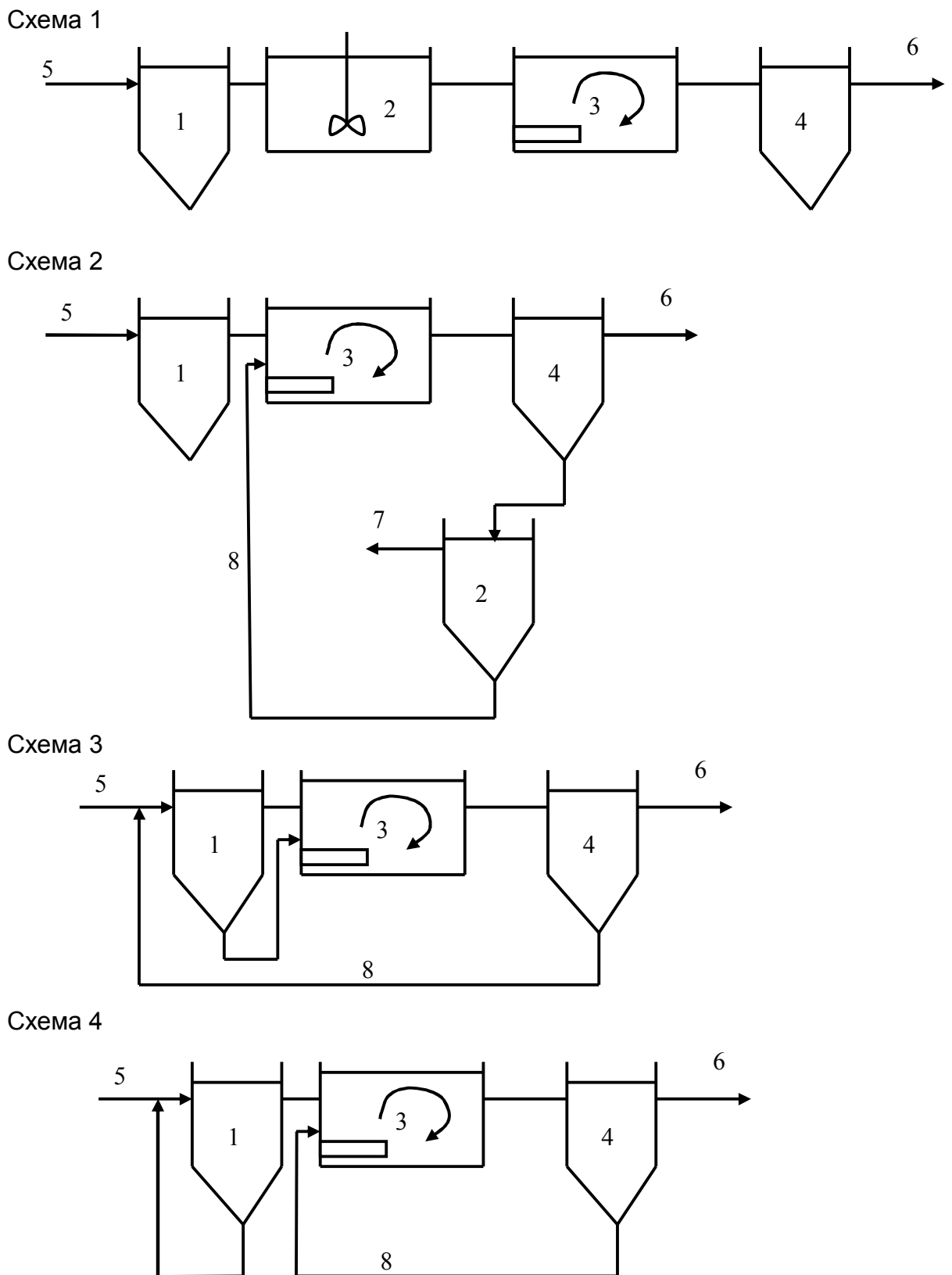


Рис.1. Схемы биологического удаления фосфора:

- 1 – первичный отстойник; 2 – сооружения для анаэробной обработки;
- 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник; 5 – исходная вода;
- 6 – очищенная вода; 7 – иловая вода; 8 – рециркулирующий активный ил

Наиболее распространёнными и изученными являются схемы *Bardenpho*, *Phoredox* и её модификации, а также схемы ИСТ с модификациями. Все схемы за исключением *Bardenpho* включают последовательно работающие аноксидную, аэробную и анаэробную зоны очистки сточных вод; технология *Bardenpho* представляет собой ступенчатую биоочистку с чередующимися аэробными и анаэробными зонами обработки иловой смеси.

Характерной особенностью всех рассмотренных схем является организация рециркулирующих потоков. Так, например, в схеме *Bardenpho* рециркуляция активного ила из вторичного отстойника и иловой смеси из первой аэробной зоны осуществляется в аноксидную. В технологии *Phoredox* активный ил из вторичного отстойника направляется в анаэробную зону, а иловая смесь из аэробной зоны, также, как и в предыдущей схеме возвращается в первую аноксидную.

В процессе ИСТ из вторичного отстойника рециркулирующий ил направляют в аноксидную зону, часть иловой смеси из аноксидной зоны возвращают в анаэробную. В модифицированных схемах ИСТ аноксидные зоны разделены на 2 части.

3. КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ

Практически, для удаления соединений фосфора из сточных вод применяется биолого-химическая очистка. При биолого-химической очистке традиционные схемы сооружений биологической очистки (с заключительным фильтрованием или без него) дополняются реагентным хозяйством, включающим растворные и расходные баки для коагулянтов и помещение для их хранения.

Учитывая возможное угнетение микроорганизмов активного ила при введении реагентов в иловую смесь, не рекомендуется применять дозу сульфата железа более 25 мг/л по Fe_2O_3 и сульфата алюминия более 18 мг/л по Al_2O_3 .

При использовании в качестве реагента сульфата алюминия для уменьшения концентрации взвешенных веществ в очищенной воде следует добавлять полиакриламид (ПАА). Ориентировочная доза ПАА 0,5...1 мг/л; введение раствора ПАА осуществляется в иловую смесь перед вторичным отстойником. При наличии в схеме очистки сточных вод на завершающем этапе фильтров с повышенной грязеёмкостью применение ПАА не обязательно.

Введение реагента на ступени биологической очистки позволяет снижать содержание в воде общего фосфора до 85%, растворимых фосфатов до 95%. Более глубокое удаление общего фосфора (до 90...95%) достигается в процессе доочистки сточных вод фильтрованием.

Ниже приводятся некоторые технологические схемы глубокого удаления фосфора из сточных вод.

Различают следующие технологии применения извести.

- Предварительное осаждение.

При этой технологии известковое молоко вводится перед первичными отстойниками. Наряду с удалением фосфора значительно повышается эффективность работы первичных отстойников и снижается нагрузка на сооружения последующей биологической очистки. Однако из-за постоянного изменения начальной концентрации загрязнений трудно регулировать подачу извести, что может привести к чрезмерному удалению фосфора. К тому же в первичных отстойниках образуется большой объём осадка, а это в свою очередь вызывает увеличение нагрузки на сооружения по его обработке.

- Симультанное осаждение.

Осуществляется путём ввода известкового молока в поток осветлённой сточной жидкости, а также циркулирующего активного ила. Недостатком этой схемы является то, что для протекания процессов биологической очистки величина рН должна составлять 6,5...8,5, а добавление $\text{Ca}(\text{OH})_2$ обеспечивает рН = 10,5...11.

- Третичная очистка.

Ввод известкового молока и отделение осадка от очищенных стоков осуществляется в отдельно стоящих сооружениях, то есть на III ступени очистки. Для интенсификации процесса осаждения предлагается использование извести в сочетании с флокулянтами. В этом случае обеспечивается достаточно высокий эффект очистки по фосфору; требуемое количество реагента меньше по сравнению с предыдущими схемами. Эти же достоинства присущи схеме, в которой известь вводится перед фильтрами на стадии доочистки.

В мировой практике очистки сточных вод в качестве реагентов для химического осаждения можно использовать соли алюминия, железа, известь. При обработке сточной воды можно применять как повышенные, так и пониженные дозы извести. Преимущество обработки воды пониженными дозами извести заключается в том, что есть возможность использования для удаления фосфора существующих емкостей и сооружений.

Введение реагентов осуществляется на различных ступенях очистки:

- механической;
- биологической (введение реагента в аэротенк в научно-технической литературе носит название симультанного осаждения);
- третичной очистки [4].

Одна из них – физико-химическая очистка сточных вод перед биологической очисткой. Реагент вводится в поток сточной жидкости перед первичным отстаиванием. Благодаря этому существенно снижается нагрузка на аэрационные сооружения; за счёт коагуляции и сорбции удаляются тяжёлые металлы, нефтепродукты и другие вещества, которые оказывают неблагоприятное влияние на дальнейшие биологические процессы; повышается эффективность нитрификации на последующей стадии

биологической очистки; осадок содержит более 75% органических веществ и может подвергаться в дальнейшем термическому гидролизу с образованием легко разлагаемых органических веществ; при сбрасывании в метантенку осадка сточных вод, содержащих сульфат алюминия и хлорид железа, снижается содержание твердой фазы; уменьшается образование метана и щёлочность [5].

Каждая из схем очистки с применением реагентов обладает как рядом достоинств, так и определёнными недостатками.

Так, при введении реагента на ступени механической очистки получаемые нерастворимые соединения фосфора удаляются совместно с осадком первичных отстойников, следовательно, увеличивается объём осадка, обработка которого представляет на станциях определённые трудности и приводит к повышению затрат. Содержание в нем тяжёлых металлов и нефтепродуктов исключает возможность использовать его в качестве сельскохозяйственного удобрения. Поэтому в некоторых случаях может наблюдаться чрезмерное удаление фосфора, что неблагоприятно скажется на процессах биологической очистки в аэротенках [4].

Таким образом, введение реагентов перед первичными отстойниками позволит повысить эффект их работы по снижению взвешенных веществ в среднем в 1,5 раза, по БПК – 2,5 раза, по фосфатам – в 3...4 раза, что, соответственно, понизит нагрузку на сооружения биологической очистки (аэротенки), позволит уменьшить их объём, расход воздуха, и электроэнергии, до 30%. Влажность осадка равна 97,5...98,5%. Объём осадка равен 0,8...1,6% объёма сточной жидкости в зависимости от типа используемого реагента и содержания взвешенных веществ в исходной сточной воде. Отстоенная сточная вода, в зависимости от принятой схемы очистки, подаётся на биологические сооружения (аэротенки) или на фильтры в случае прямой физико-химической очистки.

Снижение концентрации фосфора в очищенных сточных водах может быть достигнуто и при помощи «симультанного» осаждения, путём совмещения реагентной обработки с биологической. Этот метод заключается во введении коагулянта перед аэротенками, вследствие чего удаление соединений фосфора происходит путём осаждения растворённых его форм ионами металлов и микробиальной ассимиляции с последующим извлечением нерастворённых форм фосфора вместе с избыточным илом. Причём присутствие в сточных водах коагулянта не влияет на биохимические процессы, протекающие в аэротенке [7]. Введение реагента на ступени биологической очистки может интенсифицировать биологический процесс либо затормозить его. Подавление процесса начинается при нагрузках по реагенту более 5 мг Me_2O_3 /г беззольного вещества ила [7].

При использовании реагентов перед вторичными отстойниками его требуется примерно на 30% меньше, чем при введении в аэротенк. В этом случае снижается иловый индекс, и улучшаются процессы разделения

иловой смеси. Однако, при введении реагента перед вторичными отстойниками наблюдается повышенное содержание ионов железа в очищенной воде, превышающее допустимые концентрации для сброса в водоёмы. Как правило, введение реагента перед вторичными отстойниками рекомендуется осуществлять либо в комплексе с фильтровальными сооружениями, либо после подачи реагента дополнительно вводить полиакриламид. Это позволяет достичь более высокого эффекта по взвешенным веществам, и по фосфору. При использовании фильтров доочистки можно обеспечить остаточную концентрацию фосфора около 0,5 мг/л [4].

Подача 25 мг/л коагулянта перед аэротенком позволяет удалить в целом 98...99% суспензии, понизить БПК на 96...97%, ХПК – на 86%, содержание общего фосфора – на 90...94%. Непосредственно на фильтре задерживается на 10...15% фосфора больше за счёт повышенного содержания его в иле [7].

Как видно из приведенных выше вариантов введения реагентов, биохимическая очистка сточных вод совместно с реагентной обработкой весьма эффективна, но имеет ряд недостатков при практическом применении. Если внедрять такие технологические схемы на очистных сооружениях большой производительности, то для обработки такого количества сточных вод потребуются большие расходы реагентов, соответственно затраты на реагент, на строительство реагентного хозяйства, дополнительные энергозатраты.

4. ПРЕДЛАГАЕМАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ДЕФОСФОТАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Харьковской национальной академией городского хозяйства разработан метод доочистки сточных вод от соединений фосфора [8]. Данный метод рассматривается как один из перспективных и доступных в реализации.

В качестве реагентов для доочистки используются сульфат алюминия и хлорид железа (III).

Качественная характеристика биологически очищенных сточных вод, которые изымались для исследований из вторичного отстойника, приведена в таблице 1.

Исследования проводили параллельно на сточной воде с использованием сульфата алюминия и хлорида железа (III).

Разработана технологическая схема доочистки сточных вод от соединений фосфора, представленная на рис.2.

По данной технологической схеме предполагается, что сточная жидкость после полной биологической очистки будет поступать на доочистку на контактные осветлители, перед которыми в поток жидкости будет вводиться активированный раствор реагента.

Таблица 1

Качественная характеристика биологически очищенных сточных вод

Место отбора проб	Период исследований	Температура, °С	Содержание взвешенных веществ, мг/л	БПК ₅ , мг O ₂ /л	Фосфор фосфатов, мг/л
Отстойник	Зимний	14,5...14,8	10,0...14,2	10,0...11,4	8,96
	Весенний	17,0...19,0	10,0...14,0	8,6...9,0	8,54
	Летний	23,0...25,0	10,0...12,0	8,3...9,3	9,02
	Осенний	18,5...22,0	10,0...14,0	8,9...9,5	8,78

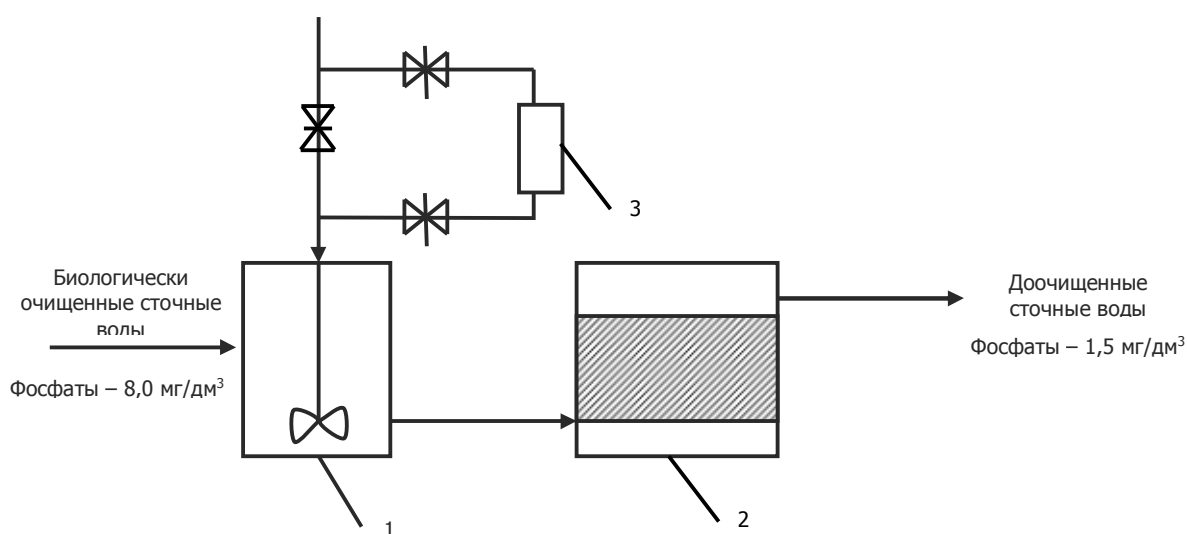


Рис.2. Технологическая схема доочистки сточных вод от соединений фосфора:
1 – смеситель; 2 – контактный осветлитель; 3 – реактентное хозяйство

Проведенные исследования показали, что доочистка сточных вод по данной технологической схеме позволяет снизить содержание фосфатов в очищенной сточной воде до $1,5 \text{ мг/дм}^3$.

Согласно проведенным исследованиям, оптимальная доза сульфата алюминия составляет 50 мг/дм^3 , а для хлорида железа оптимальная доза – 75 мг/дм^3 .

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее перспективным является применение комбинированного метода удаления фосфатов из бытовых сточных вод, который совмещает биологическую и реактентную очистку. Обоснована технологическая схема доочистки сточных вод от соединений фосфора, включающая контактные осветлители с применением раствора коагулянта сульфата алюминия, которая позволяет снизить содержание фосфора до $1,5 \text{ мг/л}$.

Список литературы

1. <http://chem100.ru/elem.php?n=15>
2. <http://www.eco.lviv.ua/obzor.html>
3. Павлова В.Ю. Технология удаления из сточных вод азота и фосфора. Оптимизация процессов очистки сточных вод с помощью современных компьютерных программ BioWin3 // В.Ю. Павлова / Международная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии в коммунальном хозяйстве». Сб. докладов. – 2010. – С. 13-18.
4. Зейфман Е.А., Лебедева Е.А., Тихановская Г.А. Г97 Интенсификация процессов очистки сточных вод от биогенных элементов: Учебное пособие. – Вологда: ВоГТУ, 2003. – С. ISBN 5-86871–144-6.
5. Мещеряков С.А. Конкурсная работа на тему: «Технология очистки сточных вод от соединений фосфора» на конкурс «Я за чистую природу с «Харьковкоммуночистводом», 2011 г.
6. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур – М.: АКВАРОС, 2003. – 512с. – ISBN 5-901652-05-3.
7. Козловская С.Б., Сорокина Е.Б. Конспект лекций по дисциплине «Спецкурс по очистке сточных вод» (для студентов 5 курса дневной и заочной форм обучения направления подготовки 0926 – «Водные ресурсы» специальности 7.092601, 8.092601 – «Водоснабжение и водоотведение») / С.Б. Козловская, Е.Б. Сорокина. – Х.: ХНАГХ, 2008. – 86с.
8. Пат. № 45046 Україна, МПК⁵¹ (2009) C02F 1/48 Спосіб доочистки стічних вод від сполук фосфору; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.