

ПОТЕНЦИАЛ ТЕХНОЛОГИИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ЗЕРНИСТЫХ ФИЛЬТРАХ С ИНЕРТНОЙ ЗАГРУЗКОЙ

Залетова Н. А., Залетов С. В.

POTENTIAL OF THE TECHNOLOGY FOR THE ADVANCED TREATMENT OF WASTEWATER USING GRANULAR-BED FILTERS WITH AN INERT MEDIUM

Zaletova N. A., Zaletov S. V.

Аннотация

Введение. В современную технологическую схему очистки сточных вод входят зернистые фильтры с инертной загрузкой — сооружения для решения задачи повышения степени очистки биологически очищенных сточных вод от взвешенных веществ и частичного снижения концентрации органических веществ. Эксплуатирующиеся фильтры доочистки представляют достаточно дорогие сооружения, поэтому они, вероятно, не включены в рекомендуемые схемы НДТ. **Методы.** Технологические и конструктивные решения отдельных фильтров открывают возможность использовать эти сооружения для выполнения более комплексных задач: не только для повышения степени очистки от органических и взвешенных веществ, но также для удаления биогенных загрязняющих веществ — соединений азота и фосфора, что в настоящее время весьма актуально. При таком подходе значимость фильтров в технологической схеме существенно возрастает. К настоящему времени имеется информация о достижении более глубокой очистки на фильтрах некоторых конструкций. **Результаты.** Наиболее значимый результат получен при использовании «сухого» фильтрования. Исследования технологии «сухого» фильтрования показывают, что при применении зернистых фильтров с синтетической вспененной зернистой загрузкой может быть достигнуто глубокое удаление соединений азота. При соответствующей конструкции фильтров и технологических параметрах режима фильтрования доступно выполнение уникальных задач — удаления фосфатов и аммония солевой до нормативов ПДК водоемов рыбохозяйственного водопользования. **Заключение.** Включение в современную технологическую схему фильтров, на которых возможно достигать глубокую очистку по целому ряду загрязняющих веществ, позволит эффективно решать современные задачи очистки сточных вод. Каждое из сооружений технологической схемы сможет работать в оптимальном режиме. Технологическая значимость и экономическая привлекательность фильтров повысится. Помимо очистки фильтры будут выполнять барьерную роль — будут стабилизировать работу системы очистки сточных вод в целом.

Ключевые слова: зернистые фильтры, инертная загрузка, соединения фосфора, аммоний солевой, контактная коагуляция, прикрепленная микрофлора, глубокая очистка.

Abstract

Introduction. The modern wastewater treatment process flow involves the use of granular-bed filters with an inert medium, which make it possible to increase the degree of treatment regarding biologically treated wastewater by removing suspended solids and partially reduce the concentration of organic substances. Filters for advanced treatment are quite expensive. This may be a reason for the fact they are not included in the recommended best available technologies. **Methods.** Technologies and designs of some filters open the possibility to use these filters to solve integrated tasks: not only to improve the degree of treatment by removing organic substances and suspended solids but also to remove such nutrients as nitrogen and phosphorus compounds, which is very important at present. With this approach, the importance of filters in the process flow increases significantly. **Results.** The most significant result was obtained using “dry” filters. Studies of dry filtration show that, with the use of granular-bed filters with synthetic expanded medium, it is possible to ensure the enhanced removal of nitrogen compounds. With the appropriate design of filters and technological parameters of the filtering mode, unique tasks can be performed, including the removal of phosphates and ammonium ion to achieve maximum allowable concentrations in fishery water bodies. **Conclusion.** The involvement of filters, providing the enhanced removal of a wide range of pollutants, in the modern process flow will effectively solve the current problems of wastewater treatment. Each element of the process flow will be able to operate in an optimal mode. The technological importance and economic attractiveness of filters will increase. Besides, filters will perform the role of a barrier: they will stabilize the operation of a wastewater treatment system in general. **Keywords:** granular-bed filters, inert medium, phosphorus compounds, ammonium ion, contact coagulation, attached microflora, advanced treatment.

Введение

Технология доочистки биологически очищенных сточных вод на фильтрах с инертной зернистой загрузкой разработана в начале 70-х годов прошлого столетия и к настоящему времени хорошо изучена. Теоретически обоснованы и практически подтверждены основные принципы технологического процесса фильтрования биологически очищенных сточных вод: фильтрование в направлении убывающей крупности зерен загрузочного материала, а также водо-воздушная промывка для регенерации загрузки. При фильтровании реализуется процесс механического изъятия взвешенных веществ и частичное уменьшение показателя БПК как результат удаления органической части взвешенных веществ. Предложен и нашел применение в практике очистки сточных вод ряд конструктивных решений фильтров. Это фильтры, в которых использованы различные загрузочные материалы — щебень, гравий, антрацит, керамзит, кварцевый песок и др. Для очистки городских сточных вод наибольшее распространение получили фильтры с песчаным либо гравийно-песчаным фильтрующими слоями. Разработаны разнообразные конструкции фильтров: однослойные и двухслойные, с нисходящим и с восходящим потоком обрабатываемой воды. Отработаны в производственных условиях технологические параметры работы фильтров и режимы их промывки. Расчет фильтров включен в типовые проекты и в СНиП 2.04.03–85 [2].

В настоящее время фильтры доочистки успешно эксплуатируются в реальных условиях на многих очистных сооружениях канализации в составе технологических схем очистки сточных вод. С середины 70-х годов эксплуатируются гравийно-песчаные фильтры с восходящим потоком воды и фильтры КЗФ и фильтры других конструкций. Фильтрование биологически очищенной воды городов позволяет стабильно снижать концентрацию взвешенных веществ до 1–2 мг/л и БПК_{полн} до 3–5 мг/л.

Для обеспечения работы фильтров доочистки для достижения современных требований к качеству очищенной воды [1, 3] требуется строительство довольно большого вспомогательного хозяйства: насосной станции для подачи биологически очищенных сточных вод на доочистку, камеры гашения напора, барабанных сеток, либо

устройств другого типа для задержания появляющихся на поверхности вторичных отстойников плавающих веществ (листьев и пр.) для защиты от засорения распределительной системы фильтров, резервуаров промывной воды, системы трубопроводов для подачи и отвода биологически очищенных и промывных вод, воздухопроводов подачи воздуха на промывку фильтров. Строительство и эксплуатация такого комплекса сооружений является весьма дорогостоящим мероприятием. Подсчитано, что включение фильтрования в технологическую схему биологической очистки сточных вод может увеличить общую стоимость очистных сооружений объекта до 30 %. Следовательно, добавочное удаление только взвешенных веществ на фильтрах оказывается весьма затратным.

Снижение стоимости очистки сточных вод может быть реализовано различными путями.

Радикальным путем уменьшения стоимости очистки сточных вод является исключение фильтров из технологической цепи очистки. Такой подход (за некоторым исключением) нашел отражение в рекомендациях к выбору наилучших доступных технологий (НДТ) [13, 18]. Однако этот путь ведет к несомненному увеличению нагрузки на водоприемники сбрасываемыми загрязняющими веществами.

Альтернативным решением применению зернистых фильтров может стать использование современного фильтровального оборудования: дисковых фильтров, оборудованных вращающимися дисками с закрепленными на них фильтровальными полотнами различной крупности, с интегрированной в их конструкцию системой промывки, либо самопромывающихся дисковых фильтров, автоматических, вакуумных и др. сооружениях водоподготовки [4, 14–16]. Имеются примеры их успешной эксплуатации и на КОС в нашей стране (например, на очистных сооружениях канализации г. Чебоксары). Определенные усилия для повышения эффективности работы фильтровальных сооружений по удалению отдельных загрязняющих веществ были предприняты и исследованы в работах [14, 17].

Возобновление интереса к применению фильтрационных сооружений с зернистой инертной загрузкой на стадии доочистки может возникнуть при наделении фильтров возможностью решать

дополнительные технологические задачи. Это и повышение глубины удаления органических и взвешенных веществ, и, что еще более важно в настоящее время, удаление непосредственно на фильтрах биогенных веществ (соединений азота и фосфора).

К настоящему времени в лабораторных и производственных условиях уже отработаны и могут применяться на практике очистки сточных вод некоторые новые конструкции фильтров с расширенным спектром решаемых задач.

Удаление соединений фосфора на фильтрах

Технически наиболее доступным методом удаления фосфатов является обработка сточной воды реагентом. При химической обработке уменьшение загрязнения сточной воды фосфатами происходит за счет связывания в нерастворимые соединения фосфатной группы с катионом реагента и вывода образующихся соединений с осадком сточных вод.

Ранее выполненными работами было показано, что введение реагента может производиться на любой ступени биологической очистки сточных вод. Потребность в реагентном удалении фосфора сохраняется и в перспективных современных схемах с аэробно-анаэробной биологической очисткой от азота и фосфора. При этом при обработке более очищенных сточных вод технологической схемы потребность в реагенте снижается, а в случае введения реагента перед фильтрами снижение оказывается еще более существенным в результате осуществления контактной коагуляции. В данном случае потребность в реагенте может быть снижена более чем в 2–4 раза по сравнению с необходимым количеством на ступени механической или биологической очистки. Благодаря этому введение реагента перед фильтрами оказывается наиболее рациональным решением технологической схемы глубокого удаления фосфатов [5, 7].

Технологическое преимущество точки введения реагента перед фильтрами — не только уменьшение требуемой дозы реагента для обеспечения заданного остаточного содержания фосфатов (т. е. растворимой части соединений фосфора), но и снижение концентрации общего фосфора вследствие задержания фильтрами взвешенных веществ, содержащих в своем составе общий фосфор. Кроме того, введение реагента

перед фильтрами позволяет повысить эффективность удаления органических веществ (БПК), взвешенных веществ и минимизировать увеличение количества дополнительного осадка, образующегося на очистных сооружениях, за счет более низких требуемых доз реагента. Применение контактной коагуляции позволяет снизить затраты на приобретение реагента, уменьшить транспортные расходы по доставке реагента, понизить затраты на строительство реагентного хозяйства (растворных и расходных баков, дозирующих устройств), что повлияет на общую стоимость очистки.

Фильтры, обеспечивающие биологическую доочистку от аммония

Возможным путем повышения привлекательности фильтров для использования в современных схемах очистки сточных вод является изменение (по сравнению с традиционным) фильтрующего слоя за счет использования инертных материалов с высокой межзерновой пористостью и развитой поверхностью зерен. Использование материалов с такими характеристиками позволяет осуществлять биологический процесс в толще загрузочного материала, что приводит к снижению содержания соединений азота.

К настоящему времени известно несколько конструкций фильтров, позволяющих выполнить эту задачу.

Одним из конструктивных решений является фильтр «ОКСИПОР», разработанный в группе компаний «НИИ КВОВ». Разработчики технологии рекомендуют применять фильтр «ОКСИПОР» в системе физико-химической очистки после механической очистки с обработкой сточной воды реагентом (сернокислым железом) [9, 11]. Фильтр «ОКСИПОР» представляет собой затопленный фильтр, в котором происходят процессы окисления органических загрязняющих веществ и аммонийного азота на пористой поверхности загрузки — керамзите. Эффективность задержания взвешенных веществ на фильтре составляла до 90 %, БПК — 80–85 %, ХПК — 70 %, СПАВ — 70 %, нефтепродуктов — 80 %. Эффективность снижения аммония солевого — до 45 % в зависимости от скорости фильтрования (при разработке фильтров задача повышенного удаления аммония не ставилась).

Другим типом фильтров, обеспечивающих биологическую очистку от органических веществ и соединений азота, являются фильтры-биореакторы, введенные в эксплуатацию на очистных сооружениях г. Воскресенска с 2014 г.

Воскресенские фильтры-биореакторы созданы на очистных сооружениях как результат постоянного улучшения гравийно-песчаных фильтров с восходящим потоком воды, водо-воздушной промывкой и низким (горизонтальным) отводом промывных вод, построенных около 30 лет назад. Основная задача совершенствования эксплуатирующихся фильтров заключалась в стремлении повысить качество очистки и упростить процесс обслуживания.

В результате выполненных работ на станции подобрана более плотная инертная загрузка — базальт. Это тяжелый зернистый материал с развитой поверхностью зерен. Применение такой загрузки позволило увеличить скорость фильтрации на фильтрах-биореакторах до 17–20 м/ч. Усовершенствованная конструкция фильтра позволила увеличить продолжительность фильтрационного цикла до 1–3 суток, усовершенствовать промывку фильтров без отключения подачи исходной воды и снизить количество образующейся промывной воды.

Использование фильтров-биореакторов привело к повышению качества доочищенной воды по сравнению с традиционным эффектом, достигаемым при применении зернистых фильтров. В фильтрованной воде содержание органических веществ снизилось до БПК_{полн} 1,5–3 мг/л при исходной 6–10 мг/л, взвешенных веществ — до 1–1,5 мг/л. Особое внимание было обращено на постоянно достигаемый эффект снижения концентрации аммонийного азота до 0,1–0,3 мг/л при исходной концентрации в биологически очищенной сточной воде 0,7–1,5 мг/л. Отмечено также снижение на фильтрах-биореакторах меди, СПАВ, нефтепродуктов [10, 12].

В ходе наших исследований была разработана гипотеза о перспективности применения «сухого» фильтрования для обеспечения повышенного удаления аммония солевого.

Сухие фильтры представляют собой незатопленные фильтры, в которых очищаемая вода разбрызгивается на поверхность загрузочного материала. Преимущество «сухих» фильтров

обусловлено большим количеством воздуха, который вводится в фильтрующий слой вместе с проходящей через фильтр очищаемой водой. Сухие фильтры наиболее широко применялись в практике водоподготовки для удаления железа, марганца и аммония, затем область их использования расширилась — фильтры стали применять для очистки промышленных, а затем и городских сточных вод.

Нами были оценены в полупроизводственных условиях возможности сухого фильтрования для окисления аммония солевого городских сточных вод [6, 8].

Методы и материалы

Исследования проведены на опытно-технологической установке. Установка состояла из двух фильтровальных колонок, работающих параллельно на одном источнике сточных вод.

Габариты каждой колонки: высота 2 м, высота слоя загрузочного материала — 1,2 м. В качестве загрузочного материала использован вспененный зернистый полистирол с диапазоном крупности гранул 2–6 мм. Колонка № 1 работала в режиме постоянной подачи исходной воды сверху в режиме орошения поверхности фильтра. В колонку № 2 также подавалась биологически очищенная вода и дополнительно постоянно вводился воздух для добавочной аэрации фильтрующей среды.

На очистку подавалась биологически очищенная сточная вода городской канализации (далее — исходная вода). Исходная вода представляла собой реальную городскую сточную воду, предварительно очищенную в аэротенке. Аэротенк работал с различными технологическими параметрами, что позволяло обеспечить исходную концентрацию аммония солевого в биологически очищенной сточной воде, подаваемой на фильтры, в диапазоне от 3–5 до 20–35 мг, концентрацию взвешенных веществ — 10–20 мг/л, содержание органических веществ: БПК₅ — 10–15 мг/л, ХПК — 80–130 мг/л.

Параметры работы сухих фильтров задавались условиями эксперимента. Процесс изъятия аммония изучен при скоростях фильтрации 0,5 и 1,7 м/ч. Для каждого варианта изученных скоростей фильтрации сопоставлены эффекты очистки при естественной аэрации фильтра и с дополнительной аэрацией загрузочного слоя.

Результаты исследований и обсуждение

Основные результаты работы экспериментальной установки приведены на рис. 1–8.

При низких скоростях фильтрования на фильтре № 1 остаточная концентрация аммония солевого менялась в пределах от 0 мг/л (т. е. полного изъятия) до 5 мг/л (рис. 1) во всем диапазоне концентраций аммония исходной воды. Величина остаточной концентрации практически не зависела от исходной концентрации аммония, поступающего на фильтр. Даже при высоких исходных концентрациях аммония (более 10–15 мг/л) окисление на фильтре было весьма глубоким — в отдельных пробах доходило до полного изъятия аммония.

В фильтрованной воде концентрация аммония колебалась в интервале от 0 мг/л (т. е. полного изъятия) до 5 мг/л. Одной из причин большого разброса величин остаточных концентраций может быть результат разных этапов жизненных циклов развития аммоний окисляющей микрофлоры в моменты отбора проб.

Эффективность изъятия аммония при этом колебалась в пределах от 60 до 100 %, т. е. величина эффективности также характеризовалась значительным разбросом.

При этом в данном случае устанавливалась (с высокой степенью достоверности) прямая зависимость между величинами концентраций изъятых и исходного аммония. Графически эта зависимость приведена на рис. 2.

Величина концентраций изъятых аммония была обусловлена практически только величиной исходной концентрации аммония, т. е. пара-

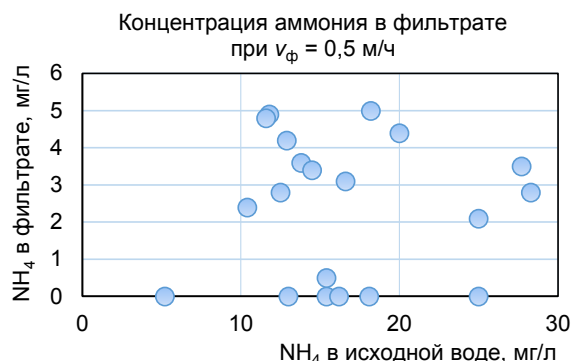


Рис. 1. Зависимость концентрации NH_4 в фильтрованной воде от концентрации NH_4 в исходной воде при малой скорости фильтрования

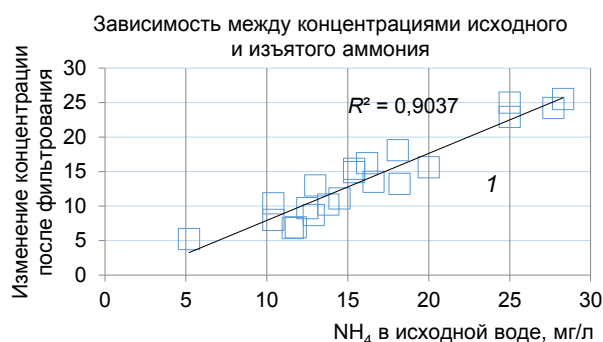


Рис. 2. Зависимость изменения величины NH_4 в процессе фильтрования от исходной концентрации NH_4 при $v = 0,5$ м/ч, 1 — линия тренда

метры работы фильтра не лимитировали изъятие аммония.

В фильтровальной колонке № 2 с дополнительной принудительной подачей воздуха в загрузку фильтра зависимости, полученные на колонке № 1, сохранились, но абсолютные показатели содержания аммония отличались: при тех же технологических параметрах фильтрования (скорость фильтрации, время контакта очищаемой воды с загрузкой фильтра) в данном случае имело место более глубокое окисление аммония. Разброс данных по содержанию аммония в фильтрате также имел место, но уменьшился: концентрации аммония в фильтрате (во всем диапазоне исходного содержания аммония) не превышали 1,3–2 мг/л, что видно из данных, приведенных на рис. 3.

Диапазон эффективностей удаления аммония сузился до 97–98 % во всем интервале изученных исходных концентраций.

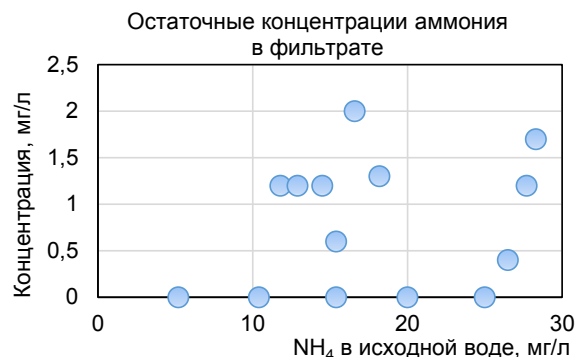


Рис. 3. Зависимость концентрации NH_4 в фильтрате от концентрации NH_4 в исходной воде при дополнительной аэрации фильтрующего слоя

Зависимость роста концентраций аммония в фильтрате при увеличении его концентраций в исходной воде сохранились. Причем остаточные концентрации аммония в фильтрате приобрели еще более явную зависимость от величины поступающего на фильтрацию аммония.

Сопоставление данных работы фильтровальной колонки без дополнительной подачи воздуха и с дополнительной аэрацией фильтрующего слоя показывает, что повышение аэробности системы способствует увеличению эффективности изъятия аммония, т. е. повышению глубины окисления аммония солевого исходной воды, и стабилизации результатов очистки.

При увеличении скорости фильтрации сточной воды изъятие аммония сохранилось, но эффективность удаления аммония при повышении содержания аммония в исходной воде снижалась, что следует из данных, приведенных на рис. 5.

При этом в режиме работы фильтра с естественной аэрацией для исходной концентрации аммония $10-15\text{ мг/л}$ эффективность изъятия составила 50–60 % (рис 5, а) при значительном содержании аммония в исходной сточной воде (порядка 25–35 мг/л) эффективность упала до 20–35 %. В то же время при дополнительной подаче воздуха (рис. 5, б) эти показатели были существенно выше — для невысоких исходных концентраций изъятие составляло 80–90 %, а для значительных 50–60 %.

Соответственно, увеличение скорости фильтрации привело к снижению остаточного содержания аммония при уменьшении концентрации в исходной воде (рис. 6). Однако по сравнению с предыдущим этапом исследования, остаточ-

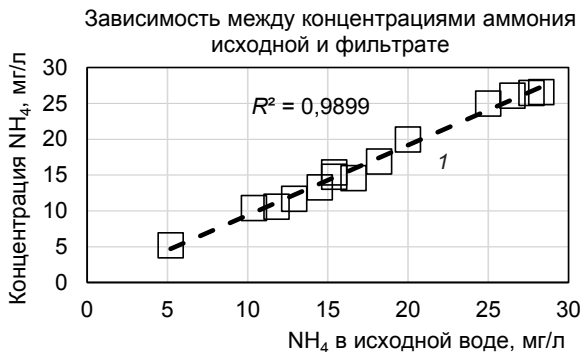


Рис. 4. Зависимость изменения величины NH_4 в процессе фильтрации от исходной концентрации NH_4 с введением воздуха в фильтр при $v = 0,5\text{ м/ч}$, 1 — линия тренда

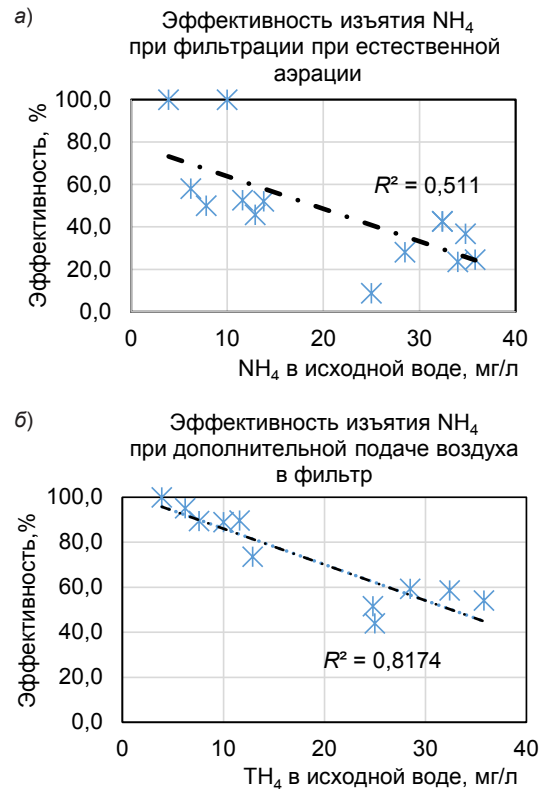


Рис. 5. Влияние условий проведения фильтрации (наличия достаточного количества кислорода) на эффективность изъятия аммония: а — при естественной аэрации, б — при дополнительной аэрации фильтрующего слоя

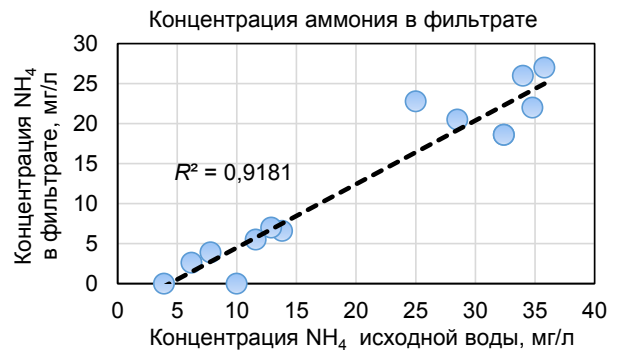


Рис. 6. Зависимость концентрации NH_4 в фильтрованной воде от концентрации NH_4 в исходной воде при увеличенной скорости фильтрации

ные концентрации аммония до 5 мг/л получены только при его концентрации в исходной воде не более 10 мг/л, а концентрации аммония менее 2 мг/л достигались только при поступлении менее 7 мг/л.

При подаче воздуха в загрузку фильтра показатели окисления аммония существенно улуч-

шились — глубина изъятия аммония повысилась (рис. 6).

Достигнута остаточная концентрация аммония до 0,4 мг/л при поступлении на фильтр до 7 мг/л и 1,5 мг/л — при подаче до 10 мг/л.

Обобщенная оценка возможности изъятия аммония на «сухих» фильтрах при различных технологических параметрах — скорости фильтрации, наличия кислорода воздуха (в пределах изученных параметров) — представлена на графиках рис. 8.

Сопоставление значений величин изъятых аммония в фильтрованной воде свидетельствует о большой значимости наличия растворенного кислорода для достижения более высокой эффективности удаления аммонийного азота в загрузочном слое фильтра. Особенно это проявляется при повышении скоростей фильтрации.

Изъятие соединений азота на сухих фильтрах обусловлено протеканием биологических процессов. При этом в фильтре благодаря развивающейся микрофлоре на зернах загрузочного материала проявляется уникальная способность микрофлоры потреблять аммоний из разбавленных растворов. Воздух, который вводится в фильтрующий слой, интенсифицирует процесс окисления аммония и позволяет улучшить показатели остаточных концентраций аммония. Отмеченное явление может позволить создать регулируемый процесс доочистки сточных вод от азота.

Очистка сточных вод на сухих фильтрах позволяет осуществить глубокое удаление аммония вплоть до ПДК по аммонии.

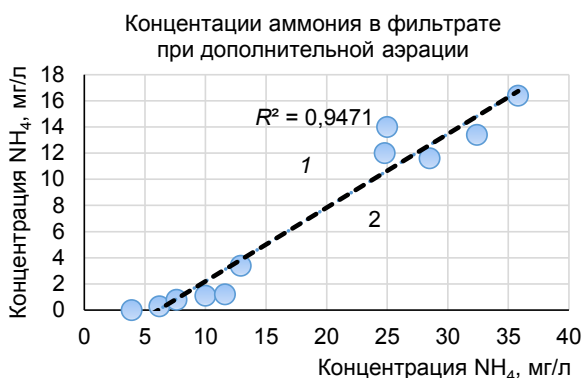


Рис. 7. Зависимость концентрации NH_4 в фильтрованной воде от концентрации NH_4 исходной воды при дополнительной аэрации

Предложенная нами технология и конструкция сухого фильтра для доочистки биологически очищенных сточных вод базируется на применении в качестве загрузочного материала зернистого вспененного синтетического материала, например, полистирола вспененного (на базе которого проведены исследования). Применение выбранного загрузочного материала дает дополнительные преимущества сухому фильтру, которые обусловлены свойствами плавающих материалов:

- ячеистая структура поверхности вспененного зернистого материала позволяет получить большую удельную поверхность прикрепления микроорганизмов, что было показано выше;

- естественная для вспененных материалов классификация носителя по убывающей крупности зерен, совпадающая в разрабатываемом сооружении с направлением движения очищаемой воды,

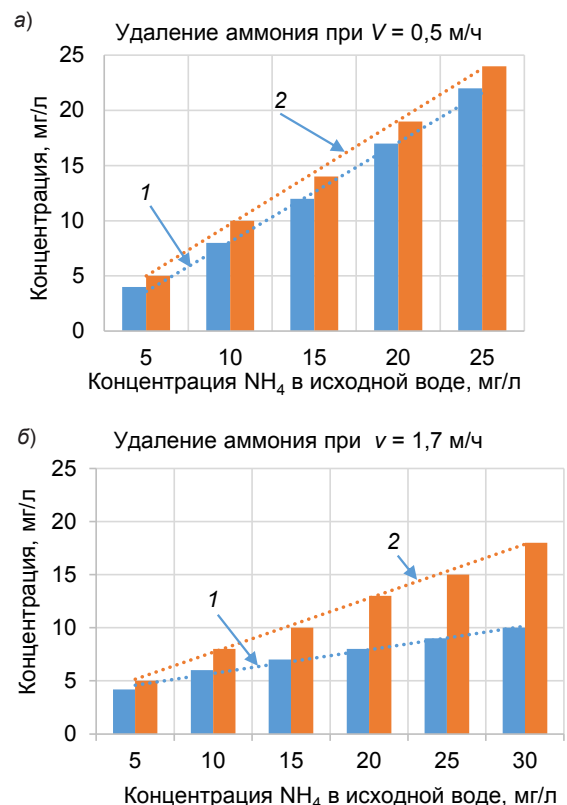


Рис. 8. Зависимость величин изъятых аммония при различных технологических условиях проведения фильтрации на фильтрах, имеющих одинаковые геометрические параметры: а — при фильтрации со скоростью 0,5 м/ч; б — при фильтрации со скоростью 1,7 м/ч; 1 — при естественной аэрации, 2 — при подаче воздуха в загрузку фильтра

позволяет предложить простую, удобную в эксплуатации однослойную конструкцию фильтра;

– использование загрузки с широким диапазоном крупности зерен позволяет повысить грязеемкость фильтра и одновременно осуществлять глубокое изъятие загрязняющих веществ.

Следовательно, новое решение фильтров существенно упрощает целый ряд вопросов, связанных с реализацией технологии и эксплуатации фильтров.

Концентрация БПК фильтрованной воды в экспериментальных фильтрах при всех режимах работы была примерно одинаковой и не превышала 2–3 мг/л. Заметно снижалось содержание ХПК, в том числе растворимой его части, что свидетельствует о глубоком окислении трудноокисляемых веществ, проходящем в слое загрузочного материала фильтра. Снижение ХПК на фильтре составляло 35–58 %. При этом показатель ХПК с 80–130 мг/л снижался до 30–50 мг/л. Эффект расщепления трудноокисляемой части органических веществ сопровождался понижением содержания нефтепродуктов и СПАВ в фильтрованной воде на 30–45 %.

Обработка полученных результатов испытания сухих фильтров показала, что время пребывания в фильтре определяется следующим соотношением:

$$T = \alpha \varepsilon v/V = \alpha \varepsilon H S/VT, \quad (1)$$

где T — время пребывания сточной воды в фильтре, ч; ε — пористость загрузочного слоя фильтра; v — рабочий объем фильтра, м³; V — расход очищаемой воды, м³/ч; H — высота слоя фильтрующего материала, м; S — площадь сечения фильтра, м²; α — коэффициент, учитывающий долю жидкости в поровом пространстве.

Зависимость остаточной концентрации аммония солевого в доочищенной воде от его исходного содержания при обеспечении глубокого изъятия азота может быть описана логарифмической функцией:

$$\text{NH}_{4\text{ф}} = k \ln(\text{NH}_{4\text{исх}}) - C. \quad (2)$$

Таким образом, в результате получены данные о влиянии скорости фильтрования или времени контакта, которое можно варьировать высотой загрузки фильтра, подачей воздуха, а также рассчитывать целесообразность предварительного биологического окисления аммония в аэротенках или на биофильтрах.

Немаловажным фактором в пользу применения фильтров является и то, что при наличии фильтров водные объекты оказываются защищенными от залпового поступления повышенных количеств взвешенных веществ в водоприемники при возможном неконтролируемом выносе активного ила из вторичных отстойников, а также от ситуаций, связанных с вероятностью временных нарушений технологического режима, недостаточным опытом эксплуатации сооружений и отсутствием отработанной схемы автоматизации.

Заключение

Повышение значимости фильтров различных конструкций в технологических схемах очистки городских сточных вод на стадии доочистки представляется актуальным и возможным.

Применение модифицированных зернистых фильтров может позволить изымать помимо традиционных органических и взвешенных веществ также соединения азота и фосфора.

Процесс фильтрования позволяет достичь стабильного снижения содержания аммония солевого вплоть до показателей ПДК водоемов рыбохозяйственного водопользования.

Применение фильтров, на которых возможно достижение требований ПДК по целому ряду загрязняющих веществ, позволит перераспределить нагрузку по изъятию данных веществ между сооружениями технологической схемы, а также повысить экономические показатели всего процесса очистки сточных вод.

Литература

1. Аюкаев, Р. И. и Мельцер, В. З. (1985). Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Л.: Стройиздат, 119 с.
2. Госстрой СССР (1985). СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 87 с.
3. Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству (1999). Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд. ВНИРО, 304 с.
4. ДАКТ-Инжиниринг (2019). Самопромывной безнапорный дисковый фильтр ДАКТ. [online] Доступно по ссылке: <http://dakt.com/index.php?id=samopromyvnoj-beznapornyj-diskovyyj-filtr-dakt&lang=ru> [Дата обращения 10.11.2019].
5. Залетова, Н. А. (1999). Очистка городских сточных вод от биогенных веществ: соединений азота и фосфора.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: НИИ КВОВ.

6. Залетова, Н. А. (2015). Общий фосфор и фосфаты сточных вод. В: Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции «Современное общество, образование и наука», 31 марта 2015. Часть 5. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, сс. 48–50.

7. Залетова, Н. А. и Залетов, С. В. (1994). Удаление биогенных веществ из городских сточных вод биологическими методами. В: Научно-практическая конференция «Решение экологических проблем г. Москвы» в рамках программы «Конверсия — городу», 14–16 декабря 1994. М.: МКНТ и ВИМИ, сс. 108–110.

8. Залетова, Н. А. и Залетов, С. В. (2012). Совершенствование технологий очистки городских сточных вод для повышения качества очищенной воды. Сантехника, № 6, сс. 38–44.

9. Луценко, Г. Н., Цветкова, А. И. и Свердлов, И. Ш. (1984). Физико-химическая очистка городских сточных вод. М.: Стройиздат, 88 с.

10. Мельцер, В. З. и Смирнов, В. Б. (2007). Опыт эксплуатации и реконструкции фильтров-биореакторов с восходящим потоком. Водоснабжение и санитарная техника, № 10, сс. 33–40.

11. Савина, В. А. (1988). Очистка сточных вод на фильтрах ОКСИПОР. В: Сборник научных трудов АКХ им. К. Д. Памфилова «Эффективные технологические процессы и оборудование для очистки сточных вод». М.: Отдел научно-технической информации АКХ, сс. 58–66.

12. Смирнов, В. Б. и Гуськов, В. А. (2017). Высокоэффективные зернистые фильтры для доочистки биологически очищенных сточных вод. С.О.К., № 6, сс. 16–22.

13. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (2015). ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 377 с.

14. Эколос (2009). Барабанное сито для очистки сточных вод. [online] Доступно по ссылке: <https://spb.ecolos.ru/products/oborudovanie-dlya-ochistnyx-sooruzhenij/barabannoe-sito/> [Дата обращения 10.11.2019].

15. Huber Technology (2019). HUBER самопромывной дисковый фильтр RoDisc®. [online] Доступно по ссылке: <https://www.huber-technology.ru/ru/products/micro-screening-filtration/microscreens/huber-disc-filter-rodiscr.html> [Дата обращения 10.11.2019].

16. Kraft, A. and Seyfried, C. F. (1990). Ammonia and phosphate elimination by biologically intensified flocculation filtration process. In: Hahn, H. H. and Klute, R. (eds.) Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings of the 4th Gothenburg Symposium, October 1–3, 1990. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 471–481. DOI: 10.1007/978-3-642-76093-8_31.

17. Kraft, A. and Seyfried, C. F. (1990). Biologically intensified filtration (dual-media dry bed filter) for advanced waste water treatment. *Water Science & Technology*, Vol. 22, Issue 1-2, pp. 317-328. DOI: 10.2166/wst.1990.0157.

18. Voda News (2019). НДТ. Специальный выпуск. Каталог наилучших доступных технологий и оборудования водоемких отраслей. [online] Доступно по ссылке: [https://](https://vodanews.info/wp-content/uploads/2017/06/Catalog_NDT.pdf)

vodanews.info/wp-content/uploads/2017/06/Catalog_NDT.pdf [Дата обращения 10.11.2019].

References

1. Ayukayev, R. I. and Meltser, V. Z. (1985). Production and use of filtering materials for water purification. Leningrad: Stroyizdat, 119 s.

2. Gosstroy of the USSR (1985). Construction Rules and Regulations SNiP 2.04.03-85. Public sewer systems and facilities. Moscow: Central Institute of Standard Designing, Gosstroy of the USSR, 87 p.

3. State Committee of the Russian Federation for Fisheries (1999). List of fisheries regulations: maximum allowable concentrations (MAC) and safe reference levels of impact (SRLU) of harmful substances for water of fishery water bodies. Moscow: Publishing House of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), 304 p.

4. DAKT Inzhiniring (2019). DAKT self-cleaning gravity disk filter. [online] Available at: <http://dakt.com/index.php?id=samopromyvnoj-beznapornyj-diskovyy-filtr-dakt&lang=ru> [Date accessed 10.11.2019].

5. Zaletova, N. A. (1999). Wastewater treatment with nutrient (nitrogen and phosphorus compounds) removal. DSc Thesis in Engineering. Moscow: NII KVOV.

6. Zaletova, N. A. (2015). Total phosphorus and phosphates in wastewater. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Modern society, education, and science”, March 31, 2015. Part 5. Tambov: UCOM Consulting Company.

7. Zaletova, N. A., and Zaletov, S. V. (1994). Nutrient removal from municipal wastewater using biological methods. In: Scientific and Practical Conference “Addressing environmental challenges in Moscow” within the framework of the program “Conversion to the City”, December 14–16, 1994. Moscow: MKNT, VIMI, pp. 108–110.

8. Zaletova, N. A., and Zaletov, S. V. (2012). Improvement of municipal wastewater treatment technologies to upgrade the quality of treated water. *Santekhnika*, No. 6, pp. 38–44.

9. Lutsenko, G. N., Tsvetkova, A. I. and Sverdlov, I. Sh. (1984). Physical and chemical treatment of municipal wastewater. Moscow: Stroyizdat, 88 p.

10. Meltser, V.Z. and Smirnov, V.B. (2007). Experience in operation and reconstruction of filter-bioreactors with upward flow. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 10 pp. 33–40.

11. Savina, V. A. (1988). Wastewater treatment using OKSIPOR filters. In: Collection of Scientific Papers of the Pamfilov Academy of Municipal Economy “Efficient processes and equipment for wastewater treatment”. Moscow: Department of Scientific and Technical Information of the Pamfilov Academy of Municipal Economy, pp. 58–66.

12. Smirnov, V. B. and Guskov, V. A. (2017). High-efficient granular-bed filters for the advanced treatment of biologically treated wastewater. *C.O.K. (Plumbing, Heating and Air Conditioning)*, No. 6, pp. 16–22.

13. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (2015). Information and technical reference book ITS 10-2015. Wastewater treatment using centralized water disposal systems of settlements, urban districts. Moscow: Byuro NDT, 377 p.

14. Ecolos (2019). Drum sieve for water treatment. [online] Available at: <https://spb.ecolos.ru/products/oborudovanie->

dlya-ochistnyx-sooruzhenij/barabannoe-sito/ [Date accessed 10.11.2019].

15. Huber Technology (2019). HUBER Disc Filter RoDisc®. [online] Available at: <https://www.huber-technology.ru/ru/products/micro-screening-filtration/microscreens/huber-disc-filter-rodiscr.html> [Date accessed 10.11.2019].

16. Kraft, A. and Seyfried, C. F. (1990). Ammonia and phosphate elimination by biologically intensified flocculation filtration process. In: Hahn, H. H. and Klute, R. (eds.) Chemical Water and Wastewater Treatment. Proceedings of the 4th Gothenburg Symposium, October 1–3, 1990. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 471–481. DOI: 10.1007/978-3-642-76093-8_31.

17. Kraft, A. and Seyfried, C. F. (1990). Biologically intensified filtration (dual-media dry bed filter) for advanced waste water treatment. *Water Science & Technology*, Vol. 22, Issue 1-2, pp. 317-328. DOI: 10.2166/wst.1990.0157.

18. Voda News (2019). NDT. Special issue. Catalogue of best available technologies and equipment for wet industries. [online] Available at: https://vodanews.info/wp-content/uploads/2017/06/Catalog_NDT.pdf [Date accessed 10.11.2019].

Авторы

Залетова Нина Анатольевна, д-р технических наук, профессор

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

E-mail: naz1604@yandex.ru

Залетов Сергей Владимирович, канд. техн. наук

ООО «Евролос», Москва, Россия

E-mail: svz1909@yandex.ru

Authors

Zaletova Nina Anatolyevna, Dr. of Engineering, Professor
National Research Moscow State University of Civil
Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

E-mail: naz1604@yandex.ru

Zaletov Sergey Vladimirovich, PhD in Engineering

“Eurolos” LLC, Moscow, Russia

E-mail: svz1909@yandex.ru