

З. Верес, Дж. Дитрой, Г. Тот, Т. Местер, Г. Лакатос

ОЧИСТКА МУНИЦИПАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ИЛА

Дебрецен университет, г. Дебрецен, Венгрия
primevzt@gmail.com

Централизованная очистка сточных вод является общей проблемой для Венгрии. После недавнего усовершенствования технологии на заводе по очистке сточных вод в Дебрецене максимальная нагрузка первоначальной системы функционирования активного ила повысилась в два раза, что позволяло очищать поступающие сточные воды из 7 населенных пунктов. Однако использование данной технологической схемы вызвало нарушения, влияющие на некоторые параметры биологической очистки, что в результате изменило качество очищенных сточных вод. Проведенные эксперименты позволили контролировать рабочие характеристики процесса очистки в течение более одного года. Установлено, что наиболее высокая степень удаления была достигнута в отношении таких показателей, как ХПК, БПК₅, общие фосфаты и взвешенные вещества, в то время как степень удаления общего азота была не очень высокой.

Ключевые слова: активный ил, сточные воды, химические параметры.

Введение. Централизация в современной цивилизации – это возможность развития. Заводы по очистке сточных вод (ЗОСВ), наряду с постоянно растущими населенными пунктами с соответствующими коммунальными услугами, становятся все крупнее. Иногда это единственное решение для удовлетворения спроса в густонаселенном районе, и, конечно, наиболее широко применяемый способ очистки сточных вод [1, 2]. После вступления в ЕС небольшие очистные установки должны обеспечивать более высокое качество обработанной воды на выходе. Причины этого могут быть связаны главным образом с изменяющимися экономическими соображениями либо с изменениями в технической реализации [3]. Тем не менее централизованные системы представляют собой достаточно хороший вариант решения во многих

© З. Верес, Дж. Дитрой, Г. Тот, Т. Местер, Г. Лакатос, 2014

случаях и, что самое важное, они уже существуют. Все, что для них требуется – это соответствующее техническое обслуживание и оптимизация рабочих характеристик.

г. Дебрецен – столица округа Хайду Бихар с населением около 200 тысяч человек; он занимает второе место в Венгрии среди городов с самым большим населением. Дебрецен расположен в Северном Великом Альфельде на высоте 119,6 м над уровнем моря. ЗОСВ в Дебрецене находится под управлением предприятия "Водные сооружения в Дебрецене" (Debrecen Waterworks). Начиная с 80-х годов прошлого столетия, этот завод непрерывно развивался в течение всех последующих лет – от лабиринта окисляющих прудов (созданная заболоченная территория) до многоструктурного предприятия наших дней. Расширение уже существующей технологии с использованием активного ила было очевидным. По оценкам специалистов, такая технология по-прежнему эффективна и обеспечивает стабильную работу. Эффективность удаления загрязняющих веществ означает способность ЗОСВ не допустить их попадания в водный объект – приемник. В действительности, загрязняющие вещества удаляются не буквально, а просто их путь изменяется таким образом, чтобы они могли представлять меньшую опасность для окружающей среды. Кроме того, их можно повторно использовать для других целей, т.е. все те материалы, например питательные вещества, которые содержатся в сточных водах с отходами, могут использоваться как удобрения для сельского хозяйства [4, 5].

При рабочем статусе, принятом в настоящее время, данный ЗОСВ имеет лицензию на очистку сточных вод в районах Джози, Микеперкс, Саранд, Хайдусамсон, Эбес и Дебрецен, отсюда необходимость его развития с радикальной реконструкцией. Участок механической очистки получил дополнительную сетку с мелкими отверстиями и модифицированный песочный фильтр. На участке биологической очистки существующие конструкции были перестроены и построена новая линия очистки примерно таких же размеров, что и прежняя. Для обработки избыточного ила создана дополнительная реакторная башня с дополнительными средствами. В результате эффективная мощность завода повысилась в два раза, позволяя ему принимать в среднем 2500 м³ сточных вод в 1 ч при суммарной мощности 60000 м³ в 1 сут. Однако планы строительства были в основном сосредоточены на увеличении общей

мощности, обеспечивая долгосрочную возможность использования завода еще в течение примерно четырех – пяти лет, а в некоторых случаях и больше. Прогнозирование будущей динамики системы сточных вод требует долгосрочного предвидения использования водных ресурсов в данном районе. Иногда значимость подобного подхода не известна ни практикам, ни руководителям, принимающим решения. Модернизация или проектирование строений в основном базируется на предположении, что некоторые будущие изменения могут действительно осуществиться. К сожалению, такие прогнозы обычно не оправдываются. Техническая и глобальная эволюция опережает наши доступные знания, касающиеся важных факторов, не говоря уже о всей стадии планирования и длительного сохранения состава сточных вод в будущем в неизменном виде [6, 7]. При этом резонно предположить, что неправильный прогноз может легко привести к перегрузке либо недогрузке завода по очистке сточных вод. В случаях сильных атмосферных осадков или отдельных аварий на объектах промышленных сточных вод могут происходить явления переполнения очистных сооружений и загрязнение окружающей среды; кроме того, начальные низкие величины гидравлической нагрузки подавляют микробиологические процессы.

В то же время техническое планирование включает фактор процесса реализации; строительные работы начинаются, и в силу строгих сроков завершения эти работы должны быть закончены вовремя. Новые сооружения подсоединяются, другие сооружения, если это необходимо, отсоединяются, а рабочий персонал обязан держать под контролем процесс очистки и качество очищенных сточных вод. В таких условиях важное значение имеют не только "аппаратные средства" технологии, но также и рабочее "программное обеспечение" [8].

Цель данной работы состояла в том, чтобы определить, как отдельные компоненты модернизации комплекса способствовали улучшению общего состояния очищенных сточных вод, которые попадают в ручей Токо. Также необходимо было определить степень удаления взвешенных твердых частиц, общего азота, суммарного фосфора, ХПК и БПК₅.

Методика эксперимента. Этап исследований на ЗОСВ начался летом в июне 2010 г. Вначале предполагалось, что он должен был длиться 6 месяцев после завершения модернизации, однако в связи с задержкой строительства третьего биореактора его продлили. Реконструкция ЗОСВ была

завершена в ноябре 2011 г., что позволило создать необходимые рабочие условия. Эта дата совпадает с концом этапа исследований и завершением эксперимента. Пробы отбирали по понедельникам второй недели каждого месяца. Оценка общей эффективности очистки сточных вод от загрязняющих веществ на ЗОСВ представлена в табл. 1. Для определения исследуемых параметров использовали сточные воды, поступающие на очистку (D1) и уже очищенные сточные воды (D2). Местоположение пункта D1 находилось в колодце главного канализационного коллектора перед сеткой на участке очистки сточных вод от механических включений, тогда как местоположение пункта D2 находилось в измерительном колодце для контроля очищенных сточных вод.

Таблица 1. Эффективность очистки сточных вод

2010 / 2011г.г.	Степень удаления, %				
	взвешенные твердые вещества	общий азот	общий фосфор	ХПК	БПК ₅
Сентябрь	94,5	73,2	39,8	90,4	66,7
Октябрь	68,8	78,9	21,7	64,5	50,0
Ноябрь	75,2	82,4	13,7	64,2	82,1
Декабрь	76,4	71,9	16,5	69,3	75,0
Январь	71,1	69,7	52,8	47,3	78,1
Февраль	82,2	81,7	62,7	18,1	79,2
Март	95,1	74,9	74,5	87,8	73,1
Апрель	39,0	52,1	17,1	64,3	86,8
Май	98,7	83,6	48,3	94,0	93,4
Июнь	93,2	89,4	31,0	83,5	65,1
Июль	92,7	57,4	43,8	70,2	77,5
Август	90,2	89,7	63,4	77,2	82,9
Сентябрь	98,8	87,9	45,8	87,5	84,6
Октябрь	87,1	75,5	53,7	84,8	84,3
Ноябрь	93,1	76,7	45,4	90,0	95,5
Среднее	83,7	76,3	42,0	72,9	78,3
СКО ±	15,9	10,8	18,7	20,1	11,5
Повышение	25,7	5,4	80,0	39,3	34,3

В полевых условиях для измерения показателя рН и электродного потенциала был использован прибор WTW рН 215i [9], для измерения электропроводности и температуры – WTW cond. 340i, а для анализа концентрации кислорода и насыщения – Thermo Electron Orion 810A+.

В лаборатории с помощью отфильтрованных проб определяли содержание нитритов, нитратов и ортофосфата, используя фильтры с размером пор 0,45 мкм и спектрофотометр Shimadzu UV-265 FW. При этом применяли методологию, основанную на принятой в Венгрии методике [10, 11], которая оказалась надежной, когда нужно было получить требуемый коэффициент разбавления. Концентрацию аммония определяли с помощью метода перегонки [12] и буферного раствора с рН > 9,5 [13]. После биологической переработки находили содержание азота и общее содержание фосфора по Кьельдалю с помощью упомянутого выше метода для определения соответственно ортофосфата и аммония с использованием нагревательного биореактора VELP DK20. Концентрацию взвешенных твердых частиц определяли после их отделения фильтрованием и сушкой в течение четырех часов в климатической камере WTB BINDER ED 53. ХПК анализировали при помощи общепринятого метода с дихроматом [14], тогда как БПК₅ определяли по методу Винклера [15].

В Директиве Совета ЕС 91/271/ЕЕС от 21 мая 1991 г. по очистке муниципальных сточных вод представлены обязательные стандарты. Во всех районах Венгрии, которые могут подвергаться эвтрофикации, если не принимать мер защиты, действуют еще более строгие административные правила. Временные ручьи, подобные Токо, очень чувствительны к загрязнениям и эвтрофикации. Для района с населением свыше 100000 человек очищенные сточные воды должны достигать следующих пороговых уровней: ХПК – 75 мгО/дм³; БПК₅ – 25 мгО₂/дм³; концентрации общего азота – 25, общего фосфора – 5 и взвешенных твердых частиц – 50 мг/дм³.

Результаты и их обсуждение. Среди параметров, измеряемых на месте, только температура показала определенную склонность к сезонным колебаниям. Для поддержания оптимальных биологических процессов в зимний период необходимо дополнительное подведение тепла. Обеспечение достаточного поступления энергии позволило снизить температуру только до 13°C дважды за весь период исследований. рН изменялось в диапазоне от 6,79 до 8,43 со средним значением

7,83 на участке поступления сточных вод и 7,24 на участке очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно $\pm 0,28$ и $0,33$). При этом можно наблюдать легкую склонность к окислению, хотя это находится в допустимом диапазоне. Значения электропроводности свидетельствуют о количестве растворенных в воде ионов. Они изменялись в интервале от 1218 до 2110 мкСм/см со средними значениями: 1971 в пункте поступления сточных вод и 1563 в пункте выхода очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно 89 и 138). Уровень окислительно-восстановительного потенциала связан с количеством кислорода, находящегося в сточных водах, в диапазоне от $-79,5$ до 31 мВ со средним значением $-46,01$ мВ для сточных вод, поступающих на очистку, и $-10,27$ мВ для очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно $\pm 14,74$ и $20,21$ мВ). Уровень концентрации растворенного кислорода изменялся в интервале от $0,20$ до $7,74$ со средним значением $0,79$ для сточных вод, поступающих на очистку, и $3,87$ для очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно $\pm 0,40$ и $1,67$). Концентрация кислорода, растворенного в очищенных сточных водах, была выше значения, установленного промышленным стандартом ($2,00$ мг/дм³) [16] для деградации загрязняющих веществ. В действительности, эта концентрация возрастает с течением времени.

Содержание взвешенных твердых частиц значительно изменялось в диапазоне от 8 до 778 мг/дм³ (со средним значением 436 мг/дм³) для сточных вод, поступающих на очистку, и 65 мг/дм³ для очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно ± 197 и 100). Средняя степень очистки составляла 83% .

Содержание общего азота находилось в диапазоне от 3 до 111 мг/дм³ со средним значением 85 для сточных вод, поступающих на очистку, и 19 мг/дм³ для очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно ± 6 и 5 мг/дм³). Средняя степень очистки составляла 76% . Концентрация легкодоступных неорганических ионов аммония в сточных водах, поступающих на очистку, намного превосходит концентрацию органического азота. Органические азотсодержащие комплексы вначале подвергаются гидролизу, что приводит к дополнительному использованию ионов аммония. После этого происходит нитрификация, что требует высокой концентрации кислорода с тем, чтобы преобразовать ионы аммония в соединения NO_2^- и NO_3^{2-} . Уровень концентрации аммония имеет возрастающую тенденцию, что

свидетельствует о нарушении нитрификации при контролируемом управлении. В соответствии с этим концентрации остающихся нитратов также возрастают (рис. 1), что подчеркивает недостаточную бактериальную активность, при которой происходит денитрификация. Для денитрификации необходимо наличие анаэробной среды, обеспечивающей восстановление нитрата. Проявление неудачного восстановления можно проследить в обратном направлении до нескольких событий. Несинхронизированная пропорция гидравлического времени пребывания (продолжительность обработки сточных вод на очистном сооружении) может быть опцией для этого явления. С другой стороны, тенденция уровня концентрации общего кислорода возрастает; тем не менее не столь важно возвращать процесс обратно и добиваться совпадения с концентрацией остающихся нитратов. Суммарная степень удаления общего азота на протяжении всего этапа исследований имеет очень слабую тенденцию к возрастанию; в основном это можно объяснить относительно высокими начальными результатами.

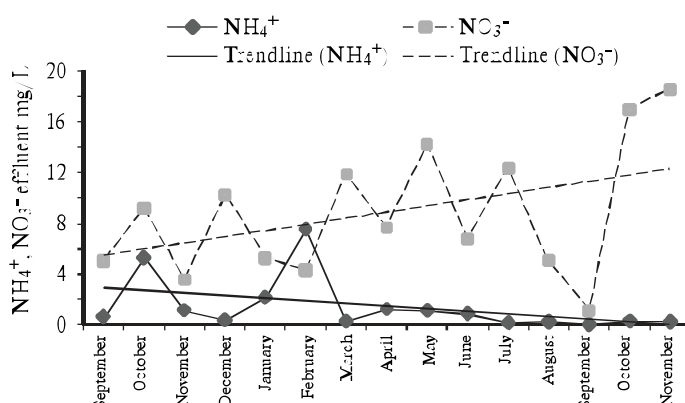


Рис. 1. Динамика изменения концентраций (mg/dm^3) NH_4^+ и NO_3^- в очищенных сточных водах соответственно линиям трендов.

Содержание суммарного фосфора находилось в интервале от 2 до 27 mg/dm^3 со средним значением 11 на входе в очистные сооружения и 6 mg/dm^3 в пункте выхода очищенных сточных вод (стандартные отклонения соответственно ± 5 и 3 mg/dm^3). Средняя конечная удерживающая способность – 42%. Этот показатель соответствует самой низкой эффективности работы ЗОСВ. Использование трихлорида железа приводит к эффективному химическому осаждению фосфора в виде фосфата. Остаточный фосфат утилизируется бактериями при их постоян-

ном росте. Неподходящие условия приводят к пониженной деградации загрязняющих веществ под воздействием бактерий, в результате чего организмы зависят от собственных резервов для поддержки энергетического баланса, высвобождая неустойчивую составляющую фосфата в результате преобразования АТФ в АДФ для накопления и замедления производства новых клеток. Модифицированная 3-этапная Барденфо (Bardenpho) конфигурация также негативно влияет на степень удаления, если происходит неполное восстановление нитрата [17].

Проведенные исследования не достигли ожидаемого повышения почти в два раза эффективности процесса очистки сточных вод. В то же время ХПК составляло от 38 до 1642 мг/дм³ со средним значением 642 мг/дм³ на входе в очистные сооружения и 133 мг/дм³ на выходе (стандартные отклонения соответственно ± 411 и 74 мг/дм³). Средняя конечная степень очистки составляла 72%. Это указывает на доступную величину органической нагрузки в сточных водах, которая может быть химически окислена, оставляя при этом более чем существенное количество источников органических соединений, и не подавляя таким образом рост бактерий посредством доступного углерода. Наряду с этим, БПК₅ (рис. 2) находилось в интервале от 11 до 592 мг/дм³ со средним значением 292 мг/дм³ на входе в очистные сооружения и 56 мг/дм³ на выходе (стандартные отклонения соответственно ± 127 и 23 мг/дм³). Средняя конечная степень очистки составляла 78%. Оба параметра имели заметную тенденцию к высокой эффективности, особенно год спустя; степень очистки с лета 2011 г. постоянно достигала уровня > 80%.

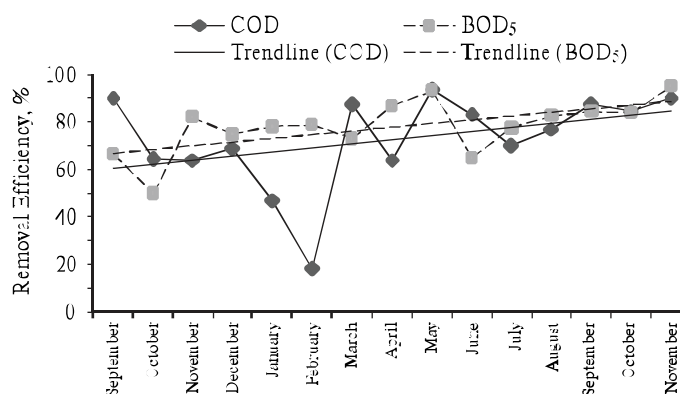


Рис. 2. Динамика изменения ХПК и БПК₅ в очищенных сточных водах соответственно линиям трендов.

Выводы. В результате недавнего усовершенствования технологии мощность ЗОСВ в Дебрецене практически увеличилась в два раза. На этапе исследований, продолжавшихся более одного года, удалось увеличить средние конечные показатели очистки. Так, степень очистки воды от взвешенных твердых частиц, БПК₅ и ХПК возросла соответственно на 25; 39 и 35%. После эксплуатации очистных сооружений в течение одного года, начиная с июня 2011 г., можно отметить, что степень очистки воды существенно превышает исходные показатели. Степень удаления аммония находится на необходимом уровне, несмотря на повышенный рост концентрации нитратов. Повышение степени очистки на 80% в случае общего фосфора связано с высокой квалификацией персонала завода, который не оснащен технологией, обеспечивающей удаление фосфора только биологическими средствами, что требует затрат на дополнительную очистку от фосфатов.

Следует отметить, что высокая концентрация растворенного кислорода достигается путем аэрации, которая является важным фактором для экономии энергии.

Резюме. Централізоване очищення стічних вод є загальною проблемою для Угорщини. Після недавнього удосконалення технології на заводі по очищенню стічних вод в Дебрецене максимальне навантаження первинної системи функціонування активного мулу подвоїлося, що дозволяло очищати стічні води, що поступають з населених пунктів. Проте використання цієї технологічної схеми викликало порушення, що впливають на деякі параметри біологічного очищення, що в результаті змінило якість очищених стічних вод. Проведені експерименти дозволили контролювати робочі характеристики процесу очищення впродовж більше одного року. Встановлено, що найбільше зростання міри видалення було досягнуте відносно спостережуваних параметрів, таких, як ХПК, БПК₅, загальні фосфати і зважені речовини, тоді як загальний азот зберігав помірну міру підвищення.

**THE EFFICIENCY OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT
WITH RECONSTRUCTED ACTIVATED SLUDGE METHOD, THE
IMPORTANCE OF TEST PHASE**

Summary

Centralized wastewater treatment policy is a common challenge in Hungary. With the recent technology improvement of the Debrecen wastewater treatment plant, the original activated sludge function system's maximum load is doubled, making it able to treat the influents of 7 settlements total. The introduced new technical constructions however required strict attention to be successfully implemented into the existing system. Retrofitting the overall processes caused disturbances affecting certain parameters in the biological elimination, thus modifying water quality of the effluent. Our experiments had aimed to control the performance of the plant after the reconstruction during test phase for more than a year period. It has been found that a slight increase of removal efficiency was achieved in the observed parameters of COD, BOD₅, TP, SS, while TN remained in a moderate degree of enhancement. Retention effectiveness has begun to escalate significantly after a year of operation.

Список использованной литературы

- [1] *Orth H.* // Water Sci. and Technol. – 2007 – **56**, N 5. – P. 259–266.
- [2] *Libralato G., Ghirardini A.V., Avezzu F.* // J. Environ. Management. – 2012. – **94**, N1. – P. 61–68.
- [3] *Benedetti L., Dirckx G., Bixio D., Thoeye C., Vanrolleghem P.A.* // Ibid. – 2008. – **88**, N4. – P. 1262–1272.
- [4] *Colmenarejo M.F., Rubio A., Sanchez E., Vicente J., Garcia M.G., Borja R.* // Ibid. – 2006. – **81**, N 4. – P. 399–404.
- [5] *Sala-Garrido R., Molinos-Senante M., Hernandez-Sancho F.* // Chem. Eng. J. – 2011. – **173**, N3. – P. 766–772.
- [6] *Domingueza D., Gujera W.* // Water Res. – 2006. – **40**, N7. – P. 1389–1396.
- [7] *Lienert J., Monstadt J., Truffer B.* // Environ. Sci. and Technol. – 2006. – **40**, N2. – P. 436–442.

- [8] *Panebianco S., Pahl-Wostl C.* // *Technovation*. – 2006. – **26**, N9. – P. 1090–1100.
- [9] *Goncharuk V. V., Bagrii V. A., Mel'nik L. A., Chebotareva R. D., Bashtan S. Yu.* // *J. Water Chem. and Technol.* – 2010. – **32**, N1. – P. 1–9.
- [10] *Nemeth J.* *A biológiai vízminősítés módszerei (Methods for Biological Water Quality Classification)*. – Budapest: KGI, 1998. – 7. – P. 162.
- [11] *Felföldy L.* // *Biológiai vízminősítés (Biological Water Quality Classification)*. – Budapest: VIZDOK, 1980. – 9. – P. 263.
- [12] *Dhaliwal B.S., Snyder J.P., Baker R.A.* // *J. Water Pollut. Control. Fed.* – 1985. – **57**, N10. – P. 1036–1039.
- [13] *Schwoerbel J.* *Methods of hydrobiol.* – Oxford, 1970. – 200 p.
- [14] *Dedkov Yu.M., Elizarova O.V., Kel'ina S.Yu.* // *J. Anal. Chem.* – 2000. – **55**, N8. – P. 777–781.
- [15] *Wetzel R.G., Likens G.E.* *Limnological Analyses*. – New York, 1991. – 391 p.
- [16] *Holenda B., Domokos E., Redey A., Fazakas J.* // *Computers and Chem. Eng.* – 2008. – **32**, N6. – P. 1270–1278.
- [17] *Haandel A.C., Lubbe J.G.M.* *Handbook Biological Wastewater Treatment*. – Leidschendam, 2007. – 570 p.

Поступила в редакцию 07.08.2012 г.