

В период рыночных отношений особое внимание должно быть уделено интенсификации процессов очистки воды, так как это позволит повысить качество очистки и снизить ее себестоимость.

1. Душкин С.С. Ресурсосберегающая технология при очистке природных и сточных вод // Тезисы докладов науч.-практ. конф. «Экология Харьковщины: состояние, проблемы, перспективы». – Харьков: УКРНИЭП, 2000. – С.18-20.

2. Душкин С.С., Гриценко А.В., Внукова Н.В., Сорокина Е.Б. Водоснабжение, водоотведение и улучшение качества воды. – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 152 с.

3. Душкин С.С., Внукова Н.В. Очистка водопроводной воды от хлорорганических соединений // Тезисы докладов XXXII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков, 2004. – С.42-44.

Получено 12.10.2006

УДК 628.356

П.В. ТРУНОВ, Д.А. ЦАРЕНКО

НПФ «Экотон», г. Харьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА И ВЛАЖНОСТИ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА В МЕМБРАННЫХ БИОРЕАКТОРАХ

Предлагается методика определения объема избыточного активного ила в мембранных биореакторах, его влажности и массы по сухому веществу, учитывающая ограниченность исходных данных при проектировании новых очистных сооружений, а также подбор технологического оборудования при подготовке технических решений и коммерческих предложений.

Эксплуатация мембранных биореакторов, как и многих других систем биологической очистки с взвешенным активным илом, сопряжена с необходимостью удаления избыточного активного ила и его последующего обезвоживания. Повышение дозы ила до 10-20 г/л, независимое регулирование времени аэрации и возраста активного ила в мембранных биореакторах обуславливают значительные изменения в скорости накопления и процессе удаления избыточного активного ила по сравнению с традиционными схемами «аэротенк - вторичный отстойник». На стадии проектирования очистных сооружений канализации подбор оборудования по обезвоживанию осадка осуществляется на основании расчетных значений объема и влажности избыточного активного ила.

Суточный объем избыточного активного ила, удаляемого из биореактора, можно вычислить по формуле

$$V_{as} = V / s_i. \quad (1)$$

Влажность активного ила, осевшего во вторичных отстойниках, обычно составляет 98,5-99,7% [1], что соответствует концентрациям

активного ила 3-15 г/л. Доза ила в мембранных биореакторах поддерживается на уровне 10 г/л и более и соответствует влажности менее 99% [2-4], что позволяет удалять избыточный активный ил непосредственно из биореактора. Как следствие – массовая концентрация избыточного активного ила равна дозе ила в МБР. Влажность избыточного активного ила, отбираемого из мембранного биореактора, определяется выражением:

$$\omega_{as} = 1 - a_i / 1000. \quad (2)$$

Определение объема и влажности избыточного активного ила по формулам (1)-(2) требует известных значений возраста и дозы ила, а также объема биореактора.

До настоящего времени не разработано стандартизированных методик расчета возраста и дозы активного ила в мембранных биореакторах в связи со сложностью учета многочисленных факторов, определяющих эффективную работу МБР [2-4]. Многие исследователи указывают на определяющее значение концентрации ХПК на входе в мембранный биореактор при проектировании основных биологических параметров сооружения [10,11,16,19,25].

Значения пар «концентрация ХПК на входе в МБР – возраст активного ила» и «концентрация ХПК на входе в МБР – доза активного ила», которые были использованы при проектировании МБР различными исследователями, приведены в табл.1 и 2 соответственно.

Основной целью данной работы является разработка методики определения объема и влажности избыточного активного ила в мембранных биореакторах (далее – Методика), учитывающей ограниченность исходных данных при проектировании новых очистных сооружений, а также подборе технологического оборудования при подготовке технических решений и коммерческих предложений.

Методика предполагает наличие известных значений следующих исходных параметров:

- показатель ХПК на входе в МБР;
- объем мембранного биореактора.

Основными расчетными параметрами являются возраст активного ила и доза ила в мембранном биореакторе.

На основании возраста и дозы ила в мембранном биореакторе по формулам (1)-(2) вычисляются объем и влажность избыточного активного ила.

Возраст активного ила определяется как продолжительность пребывания его организмов в биореакторе и напрямую зависит от количества отбираемого избыточного активного ила. В связи с ухудшением

Коммунальное хозяйство городов

флокулирующей способности активного ила при увеличении его возраста, возраст ила в системах «аэротенк - вторичный отстойник» обычно не превышает 15 суток [1].

Таблица 1 – Исходные данные для определения зависимости «Возраст активного ила - концентрация ХПК на входе в МБР»

Концентрация ХПК на входе в МБР, мг/л	Возраст активного ила, сут	Тип сточных вод	Литературный источник
69,7	15,0	городские ст. воды	[5]
82,5	20,0	искусственные ст. воды	[6]
150,0	45,0	ст. воды завода по производству ЖК мониторов	[7]
150,0	45,0	ст. воды оптоэлектронного производства	[8]
190,0	27,0	хозяйственно-бытовые ст. воды	[9]
248,0	20,0	хозяйственно-бытовые ст. воды	[10]
280,0	15,0	городские ст. воды	[11]
300,0	20,0	искусственные ст. воды	[12]
300,0	30,0	искусственные ст. воды	[13]
300,0	25,0	городские ст. воды	[11]
322,0	50,0	хозяйственно-бытовые ст. воды	[14]
323,0	30,0	искусственные ст. воды	[15]
400,0	20,0	городские ст. воды	[11]
448,0	25,0	искусственные ст. воды	[16]
450,0	20,0	искусственные ст. воды	[17]
450,0	50,0	городские ст. воды	[11]
480,0	50,0	городские ст. воды	[11]
500,0	30,0	городские ст. воды	[11]
540,0	30,0	городские ст. воды	[11]
560,0	30,0	городские ст. воды	[11]
700,0	15,0	городские ст. воды	[11]
740,0	26,0	городские ст. воды	[5]
1200,0	35,0	искусственные ст. воды	[18]
1250,0	45,0	ст. воды завода по производству ЖК мониторов	[7]
2500,0	80,0	фильтрат свалок	[18]
4500,0	100,0	Ст. воды мед. комплекса после двухступенчатого метантенка	[19]

Таблица 2 – Зависимость концентрации MLSS от концентрации ХПК на входе

Концентрация ХПК на входе, мг/л	Доза ила, г/л	Тип сточных вод	Литературный источник
1	2	3	4
34,0	7,0	-	[21]
115,0	6,4	хозяйственно-бытовые ст. воды	[22]
121,6	7,5	городские ст. воды	[23]
150,0	6,0	ст. воды оптоэлектронного производства	[8]
165,0	10,0	городские ст. воды	[11]
200,0	15,0	городские ст. воды	[11]
200,0	14,0	городские ст. воды	[11]
220,0	14,0	городские ст. воды	[11]
225,0	12,0	городские ст. воды	[11]
243,0	8,0	искусственные ст. воды	[24]
250,0	10,6	ст. воды винного завода	[25]

Продолжение табл.2

1	2	3	4
250,0	12,0	городские ст. воды	[11]
250,0	10,0	городские ст. воды	[11]
270,0	15,0	городские ст. воды	[11]
275,0	13,0	городские ст. воды	[11]
280,0	15,0	городские ст. воды	[11]
300,0	10,0	городские ст. воды	[11]
323,0	12,0	искусственные ст. воды	[15]
325,0	15,0	городские ст. воды	[11]
340,0	12,0	городские ст. воды	[11]
635,0	13,0	городские ст. воды	[26]
650,0	20,0	искусственные ст. воды	[27]
653,0	7,5	городские ст. воды	[5]
740,0	12,0	городские ст. воды	[5]
786,0	9,0	городские ст. воды	[28]
786,0	16,0	городские ст. воды	[28]
880,0	5,9	ст. воды пищевой промышленности	[29]
1175,0	10,6	ст. воды кожевенного завода	[25]
1500,0	14,0	фильтрат свалок	[26]
1725,0	16,6	ст. воды пищевой промышленности	[30]
2100,0	29,0	фильтрат свалок	[26]
2500,0	33,0	фильтрат свалок	[26]
2500,0	26,0	фильтрат свалок	[26]
3200,0	35,0	фильтрат свалок	[26]

Независимость эффективности разделения иловой смеси от илового индекса и от способности активного ила к флокулообразованию при использовании мембранных методов сепарации позволяет эксплуатировать мембранные биореакторы с возрастом активного ила от 20 суток при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод до 200 и более при очистке промышленных сточных вод сложного состава. В условиях «старого» активного ила значительная его часть представлена медленнорастущей микрофлорой, представители которой наиболее эффективно окисляют трудноразлагаемые органические вещества, а также обеспечивают полную нитрификацию сточных вод. В связи с этим при очистке концентрированных промышленных сточных вод, характеризующихся высокими значениями ХПК, целесообразно увеличивать возраст ила. На рис.1 изображены пары значений «ХПК на входе в МБР - возраст активного ила» из табл.1, а также приведена кривая, описываемая используемым в методике уравнением.

Анализируя рис.1, отмечаем увеличение возраста активного ила при подаче более концентрированных сточных вод. Однако при значении ХПК менее 1000 мг/л разброс значений очень велик (от 18 до 50 сут). Это объясняется тем, что каждый тип мембран характеризуется оптимальным значением дозы ила, при которой фильтрационные характеристики обеспечивают наиболее эффективное, надежное и экономически целесообразное функционирование МБР. Постоянство дозы

ила обеспечивается удалением определенного объема избыточного активного ила, что и определяет возраст ила. Кроме того, возраст ила напрямую зависит от проектной или фактической производительности обезвреживающего оборудования. При использовании МБР для очистки хозяйственно-бытовых и городских сточных вод рекомендуемый возраст активного ила составляет 20-35 сут. [11]. Эксплуатация МБР с возрастом активного ила более 200 сут. является технически нецелесообразной, вследствие избыточного накопления в биореакторе инертных взвешенных веществ, резко ухудшающих фильтрационные характеристики мембран. На основании вышеизложенного Методикой предложена кривая, выражающаяся аналитически формулой

$$s_i = 170 \frac{C_{ХПК_{in}}}{3700 + C_{ХПК_{in}}} + 15. \quad (3)$$

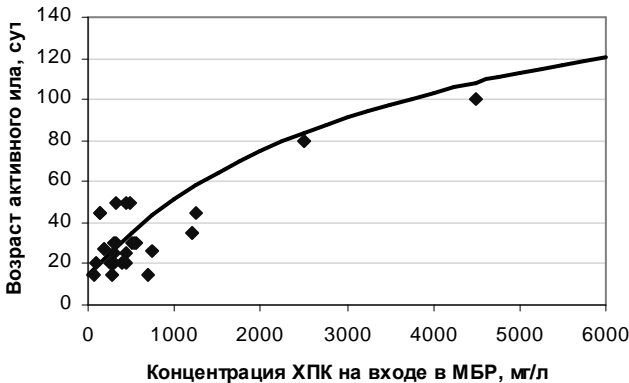


Рис.1 – Зависимость «Возраст активного ила – концентрация ХПК на входе в МБР»

Доза ила является одним из основных расчетных параметров МБР. Для обеспечения эффективной очистки сточных вод необходимо, чтобы сооружение обладало достаточной окислительной мощностью. Окислительная мощность сооружения определяется количеством биомассы, являющимся основным агентом биологической очистки. При очистке концентрированных сточных вод количество органических веществ, поступающих с единицей объема сточных вод, возрастает. При этом для достижения требуемого эффекта очистки необходимо повысить окисляющую мощность сооружения, т.е. повысить содержание биомассы в реакторе.

Увеличения биомассы в реакторе можно достичь двумя путями:

- повышением концентрации активного ила при том же объеме биореактора;
- увеличением объема биореактора при той же концентрации активного ила.

На практике используются оба способа. Именно этот факт создает трудности при определении зависимости «Доза ила в МБР - ХПК», ведь при определении параметров МБР в каждом конкретном случае может быть выгоднее, технически или экономически, первый или второй вариант. Значения дозы ила и соответствующего значения ХПК на входе в МБР из табл.2, а также кривая, описывающая аналитическую зависимость, принятую методикой, представлены на рис.2.

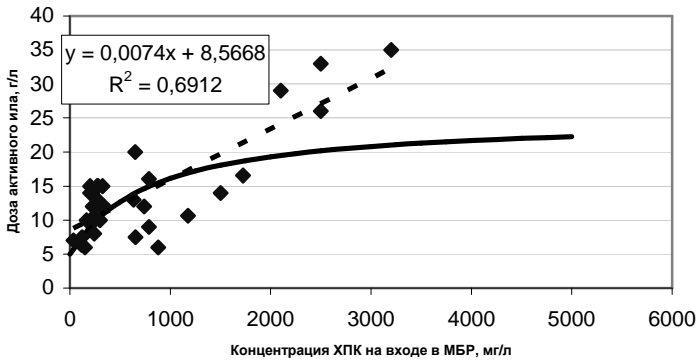


Рис. 2 – Зависимость «Доза ила – ХПК на входе в МБР»

Наиболее точно представленные на рис.2 данные описывает линейная зависимость (пунктирная линия), уравнение и величина аппроксимации которой указаны на графике. Однако использование подобной зависимости в Методике является недопустимым. Основные производители МБР [2-4] не рекомендуют проектировать МБР с концентрациями активного ила, превышающими 15-18 г/л. В настоящее время общепринятым является тот факт, что максимальная, технически целесообразная концентрация активного ила, при которой возможна долгосрочная эксплуатация МБР, составляет около 25 г/л. Эксплуатация МБР при концентрациях активного ила более 30 г/л требует применения специальных методов предотвращения засорения мембран (чередование обратной промывки и релаксации, аэрация переменной интенсивности и т.п.), при этом резко повышаются эксплуатационные затраты сооружения. Исходя из этих соображений, кривая зависимости

«Доза ила – концентрация ХПК на входе в МБР» на всем диапазоне значений ХПК не превышает концентрации активного ила 25 г/л, а также повторяет линейную зависимость до концентрации ХПК = 1000 мг/л.

$$a_i = 20 \frac{C_{ХПК_{in}}}{800 + C_{ХПК_{in}}} + 5. \quad (4)$$

На основании известных значений дозы и возраста активного ила по формулам (1)-(2) рассчитываются целевые параметры Методики – объем и влажность избыточного активного ила.

Представленная Методика позволяет определить объем и влажность избыточного активного ила на основании минимального объема исходных данных, и может быть использована на стадии подбора оборудования в проектной документации и в рамках технико-коммерческих предложений. При выборе формы зависимости каждого из расчетных параметров Методика учитывает рекомендации основных производителей мембранных биореакторов (US Filter, Kubota, Zenon, Mitsubishi Rayon) в части выбора расчетных параметров.

Обозначения в формулах: $C_{ХПК_{in}}$ – концентрация ХПК на входе в МБР, мг/дм³; s_i – возраст активного ила, сут.; a_i – доза активного ила, г/дм³; V_{as} – суточный объем избыточного активного ила, м³/сут.; ω_{as} – влажность избыточного активного ила;

1. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.

2. Membrane Bioreactors for Water Repurification – Phase I : Desalination and Water Purification Research and Development Program Final Report No.34 / Samer Adham, Paul Gagliardo. – San Diego: Technical Service Center of U.S. Bureau of Reclamation, 1998. – 81 p.

3. Membrane Bioreactors for Water Reclamation – Phase II : Desalination and Water Purification Research and Development Program Final Report No.60 / Samer Adham, Rion P. Merlo, Paul Gagliardo. - San Diego: Technical Service Center of U.S. Bureau of Reclamation, 2000. – 162 p.

4. Optimization of Various MBR Systems for Water Reclamation – Phase III : Desalination and Water Purification Research and Development Program Final Report No.103 / Samer Adham, James F. DeCarolus, William Pearce. - San Diego: Technical Service Center of U.S. Bureau of Reclamation, 2004. – 192 p.

5. Boris Lesjeana, Regina Gnirssb, Christian Adamc. Process configurations adapted to membrane bioreactors for enhanced biological phosphorous and nitrogen removal // Desalination. – 2002. – No. 149. – p. 217-224.

6. M.E.Hernandez Rojas, R. Van Kaam, S.Schetrite. Role and variations of supernatant compounds in submerged membrane bioreactor fouling // Desalination. – 2005. – No.179. – p.95-107.

- 7.T.K.Chen, J.N.Chen. Combined membrane bioreactor (MBR) and reverse osmosis (RO) system for thin-film transistor – liquid crystal display TFT-LCD, industrial wastewater recycling // *Water Science and Technology*. – 2004. – No.50. – p.99-106.
- 8.T.K.Chen, C.H.Ni, J.N.Chen. High-strength nitrogen removal of opto-electronic industrial wastewater in membrane bioreactor – a pilot study // *Water Science and Technology*. – 2003. – No.48. – p.191-198.
- 9.Doug Thompson, Paul Clinghan, Cory Schneider. Municipal Membrane Bioreactor Application in the North East [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.zenon.com, свободный.
- 10.Xia Huang, Ping Gui, Yi Qian. Effect of sludge retention time on microbial behaviour in a submerged membrane bioreactor // *Process Biochemistry*. – 2001. – No.36. – p.1001-1006.
- 11.Stephen Chapman, Greg Leslie, Ian Law. Membrane Bioreactors (MBR) for Municipal Wastewater Treatment – An Australian Perspective // *Journal of Australian Water Association*. – 2004. – No.4. – p. 65 – 75.
- 12.Chackrit Nuengjammong, Ji Hyang Kweon, Jinwoo Cho. Membrane fouling caused by extracellular polymeric substances during microriltration processes // *Desalination*. – 2005. – No.179. – p.117-124.
- 13.Wontae Lee, Seoktae Kang, Hangsik Shin. Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in a submerged membrane bioreactors // *Journal of Membrane Science*. – 2003. – No.216. – p.217-227.
- 14.Yu Shui-li, Zhao Fang-bo, Yu Shui-li, Li Qian, Zhang Hong-jie. Nitrogen and Phosphorous Bio-removal in an Intermittently Cyclic activated Sludge MBR [Электронный ресурс].- Электрон.дан. - Режим доступа: www.paper.edu.cn, свободный.
- 15.Nazim Cicek, Juan P. Franco, Makram T. Suidan. Urban Effect of Phosphorous on operation and Characteristics of MBR // *Journal of Environmental Engineering and Science*. – 1999. – No.125. – p.738-746.
- 16.Jian-Hua Cao, Bao-Ku Zhu, Hong Lu, You-Yi Xu. Study on polypropylene hollow fiber based recirculated membrane bioreactor for treatment of municipal wastewater // *Desalination*. – 2005. – No.183. – p. 431-438.
- 17.Xia Huang, Rui Liu, Yi Qian. Behaviour of soluble microbial products in a membrane bioreactor // *Process Biochemistry*. – 2000. – No.36. – p. 401-406.
- 18.Dae Sik Kim, Jong Seok Kang, Young Moo Lee. The influence of membrane surface properties on fouling in a membrane bioreactor for wastewater treatment // *Separation Science and Technology*. – 2004. – No.39. – p.833-854.
- 19.Dave Cameron. Operating Efficiency with Innovative High Efficiency Membrane Treatment of Landfill Leachate // *Proceedings of the 6th Landfill Symposium By SWANA*. – 2001. – p. 35-52.
- 20.Nanqi Ren, Zhaobo Xhn, Xiangjing Wang, Dongxue Hu, Aijie Wang. Optimized operational parameters of a pilot scale membrane bioreactor for high-strength organic wastewater treatment // *International Biodeterioration & Biodegradation*. – 2005. – No.56. – p.216-223.
- 21.Kyu-Hong Ahn, Ho-Young Cha, Kyung-Guen Song. Retrofitting municipal sewage treatment plants using an innovative membrane-bioreactor system // *Desalination*. – 1999. – No.124. – p. 279-286.
- 22.Francesco Fatone, David Bolzonella, Paolo Battistoni, Franco Cecchi. Removal of nutrients and micropollutants treating low loaded wastewaters in a membrane bioreactor operating the automatic alternate-cycles process // *Desalination*. – 2005. – No.183. – p.395-405.
- 23.Jinwoo Cho, Kyung-Guen Song, Sang Hyup Lee, Kyu-Hong Ahn. Sequencing anoxic/anaerobic membrane bioreactor (SAM) pilot plant for advanced wastewater treatment // *Desalination*. – 2005. - No.178. – p. 219-225.
- 24.Kyung-Guen Song, Youn-Kyoo Choung, Kyu-Hong Ahn, Jinwoo Cho, Hojoon Yun.

Performance of a membrane bioreactor with sludge ozonation process for minimization of excess sludge production // Desalination. – 2003. – No.157. – p.353-359.

25.P.Artiga, E.Ficara, F.Malpei, J.M.Garrido, R.Mendez. Treatment of two industrial wastewaters in a submerged membrane bioreactor // Desalination. – 2005. – No.179. – p.161-169.

26.K.Tarnacki, S.Iyko, T.Wintgens, T.Melin, F.Natau. Impact of extra-cellular polymeric substances on the filterability of activated sludge in membrane bioreactors for landfill leachate treatment // Desalination. – 2005. – No.179. – p.181-190.

27.Stefan Holloer, Walter Trosch. Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates // Journal of Biotechnology. – 2001. – No.92. – p. 95-101.

28.S.Rosenberger, U.Kruger, R.Witzig, W.Manz, U.Szewzyk, M.Kraume. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water // Water Research. – 2002. – No.36. – p. 413-420.

29.S.Katayona, M.J.Megat Mohd Noora, J.Ahmadb, L.A.Abdul Ghania, H.Nagaokac, H.Ayac. Effects of mixed liquor suspended solid concentrations on membrane bioreactor efficiency for treatment of food industry wastewater // Desalination. – 2004. – No.167. – p.153-158.

30.Ying Wanga, Xia Huang, Qipeng Yuan. Nitrogen and carbon removals from food processing wastewater by an anoxic/aerobic membrane bioreactor // Process Biochemistry. – 2005. – No.40. – p.1733-1739.

Получено 12.10.2006

УДК 628.1

В.Д.КОЛОТИЛО, В.Я.КОБЫЛЯНСКИЙ, кандидаты техн. наук,
Е.Э.МАКСИМОВА
КП «ПТП «Вода», г.Харьков

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ г.ХАРЬКОВА

Рассматриваются возможности существующих сооружений кондиционирования питьевой воды систем централизованного водоснабжения по обеспечению повышенных требований к качеству питьевой воды. Установлено, что существующие производственные мощности обладают значительным технологическим резервом для более жесткого регулирования качества питьевой воды по таким показателям, как мутность, перманганатная окисляемость, концентрация остаточного хлора и хлороформа.

Надежность бесперебойного функционирования систем централизованного водоснабжения и гарантированное нормативное качество питьевой воды остается определяющим фактором безопасного и комфортного проживания населения городов, особенно крупных мегаполисов, к которым относится г.Харьков.

Очевидно, что острота и глобальность проблем питьевого водоснабжения только возрастает – по данным ООН 1 млрд. человек не имеет доступа к чистой и безопасной питьевой воде, 5 млн. человек ежегодно умирает от бактериально загрязненной воды [1]. От проблемы роста числа заболеваний, связанных с недоброкачественной питье-