

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДА БРЕСТА НА МЕХАНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ БРЕСТСКОГО МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА (БМПЗ)

С. Г. Белов¹, Е. И. Дмухайло², Г. О. Наумчик³, Е. С. Рыбак⁴

¹ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: siarhei.bialou@gmail.com

² Инженер-изобретатель, г. Брест, Республика Беларусь

³ Ст. преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь

⁴ Ст. преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета, г. Брест, Республика Беларусь

Реферат

Реализация технологических схем удаления биогенных элементов на городских очистных сооружениях требует индивидуального подхода к обработке образующихся осадков. Статья посвящена проблемам, возникающим при обработке осадков городских сточных вод на существующих сооружениях обработки осадка из первичных отстойников и избыточного активного ила с использованием метантенков проточного типа. Также рассмотрены новейшие разработки в области аэробного и анаэробного сбраживания осадков, образующихся на городских очистных сооружениях, позволяющие сделать процесс переработки осадков энерго и ресурсосберегающим, а также обеспечить очистку возвратных потоков от соединений азота по технологии Анаммокс и удаление соединений фосфора с получением минерального удобрения – струвита. Также приведена информация, позволяющая сравнить эффективность различных режимов безреагентной напорной флотации с реагентной седиментацией. Выполнен анализ влияния температуры и уплотнения осадков на процесс анаэробного сбраживания. Предложена усовершенствованная технологическая схема обработки осадков, поступающих с канализационных очистных сооружений, сочетающая в себе процессы аэробного и анаэробного сбраживания осадков при соблюдении оптимальных температуры и влажности.

Ключевые слова: осадки сточных вод, метантенк, аэробная стабилизация, активный ил, уплотнение, напорная флотация, удаление биогенных элементов, очистка возвратных потоков от соединений азота, дефосфатация, минеральное удобрение струвит.

RECOMMENDATIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF WASTEWATER SLUDGE TREATMENT IN THE CITY OF BREST AT THE MECHANICAL AND BIOLOGICAL FACILITIES OF THE BREST WASTE PROCESSING PLANT (BWPP)

S. G. Belov, E. I. Dmukhaylo, G. O. Naumchik, E. S. Rybak

Abstract

The implementation of technological schemes for the removal of biogenic elements at urban wastewater treatment plants requires an individual approach to the treatment of sludge. The article is devoted to the problems that arise during the treatment of urban sewage sludge at existing facilities for the treatment of sludge from primary settling tanks and excess activated sludge using flow type digesters. The latest developments in the field of aerobic and anaerobic digestion of sludge generated at urban wastewater treatment plants are also considered, which make it possible to make the process of sludge processing energy and resource-saving, as well as to ensure the purification of return flows from nitrogen compounds using the Anammox technology and the removal of phosphorus compounds with the production of mineral fertilizer - struvite. Information is also provided to compare the effectiveness of various regimes of reagentless pressure flotation with reagent sedimentation. The influence of temperature and compaction of sediments on the process of anaerobic digestion was analyzed. An improved technological scheme for the treatment of sludge coming from sewage treatment plants is proposed, which combines the processes of aerobic and anaerobic sludge digestion while maintaining optimal temperature and humidity.

Keywords: sewage sludge, digester, aerobic stabilization, active sludge, compaction, pressure flotation, removal of biogenic elements, purification of return flows from nitrogen compounds, dephosphatation, struvite mineral fertilizer.

Введение

В настоящее время осадки сточных вод с очистных сооружений города Бреста в виде осадка из первичных отстойников с расходом 500 м³/сут и средней влажностью 96 % и избыточного активного ила из вторичных отстойников с расходом 1200 м³/сут и средней влажностью 98,5 % перекачиваются на механо-биологические сооружения обработки осадка БМПЗ. На территории БМПЗ расположены два метантенка (объемом по 5000 м³) проточного типа, в которых происходит совместное сбраживание осадка из первичных отстойников и активного ила. Активный ил перед подачей в метантенки обезвоживается на ситах. Осадок из первичных отстойников поступает в осадкоуплотнитель, откуда смешанный с активным илом перекачивается в метантенк. Сброженная смесь осадков поступает в резервуар-накопитель, где должно происходить его окончательное дображивание. Далее осадок из резервуара-накопителя перекачивается в цех мехобезвоживания, где с помощью фильтр-прессов осуществ-

ляется его сгущение. Обезвоживание осадков интенсифицируется введением флокулянтов. Иловая вода из осадкоуплотнителей, фильтрат от фильтр-прессов и сит, перекачивается в приемную камеру городских очистных сооружений. Технологическая схема обработки осадков показана на рисунке 1.

В связи с необходимостью сбраживания значительных объемов осадков с высокой влажностью в условиях перегрузки метантенков, что снижает выход биогаза, а также перекачки сильнозагрязненных возвратных потоков, что повышает нагрузки (до 30 %) на механо-биологическую очистку городских очистных сооружений, возникает необходимость повышения эффективности обработки осадков на БМПЗ. В рамках ХД № 20/155 (от 12.11.2020) были определены и уточнены состав и свойства осадков, поступающих на БМПЗ, и выполнен аналитический обзор основных методов повышения эффективности обработки осадка путем интенсификации технологических процессов и оптимизации параметров их работы.

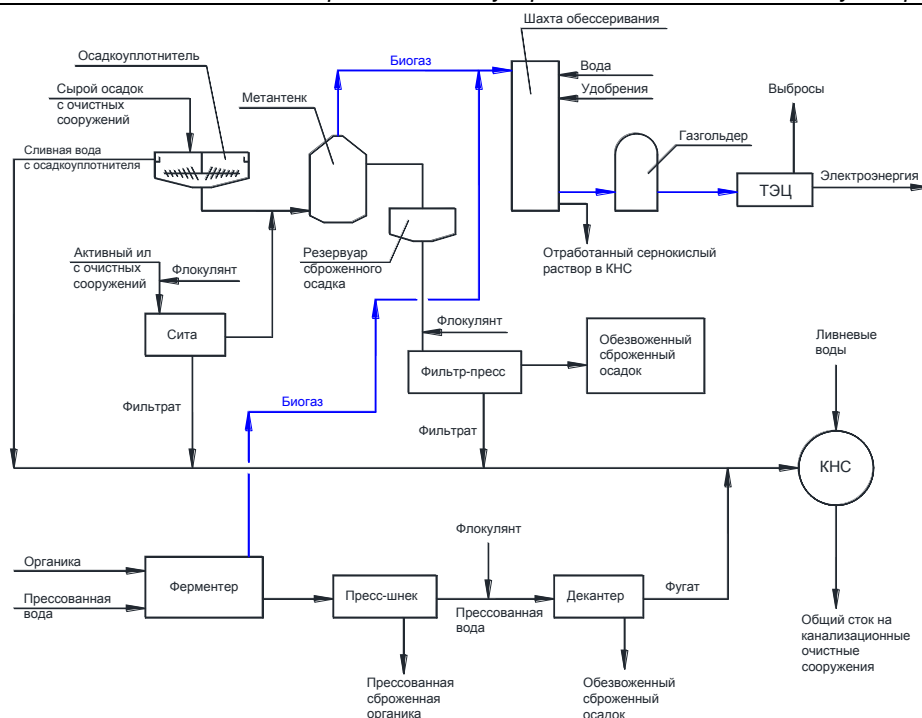


Рисунок 1 – Технологическая схема сооружений по обработке осадков на Брестском мусороперерабатывающем заводе

Методы интенсификация обработки осадков в метантенках

Связь между величиной суточной нагрузки по беззольному веществу N_b ($кг/(м^3 \cdot сут)$), дозой загрузки d (%) и продолжительностью t (сут) при заданных величинах влажности осадка W (%), концентрации сухого вещества C ($кг/м^3$) и зольности Z_{oc} (доли единицы) может быть выражена рядом уравнений [1]:

$$N_b = \frac{d}{100} \cdot \left(\frac{100 - W}{100} \right) \cdot (1 - Z_{oc}) = \frac{1}{t} \cdot \left(\frac{100 - W}{100} \right) \cdot (1 - Z_{oc}) \cdot 10^3;$$

$$d = \frac{Q_{cym}}{V_m} \cdot 100 = \frac{100}{t}; G_b = Q_{cym} \cdot \left(\frac{100 - W}{100} \right) \cdot (1 - Z_{oc}),$$

где Q_{cym} – суточный объём осадка, $м^3/сут$;

G_b – масса беззольной части осадка, $кг/сут$;

V_m – объём метантенка, $м^3$.

Величина нагрузки условно классифицируется на низкую (до $2 кг/м^3$), среднюю ($3...4 кг/м^3$) и высокую. Чем выше нагрузка, тем ниже величина фактического распада вещества (при прочих равных условиях). Допустимая разница между теоретическим \mathcal{E}_m и фактическим распадом $\mathcal{E}_ф$ ($\frac{\mathcal{E}_ф - \mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_m}$) не должна быть более 0,2. Для упрощенных

расчетов можно принимать, что разница между ними не должна быть более 0,25·C для мезофильного брожения и не более 0,22·C для термофильного режима

$$C = 10 \cdot (100 - W),$$

где C – концентрация сухого вещества в осадке, $кг/м^3$.

Разница между теоретическим и фактическим распадом может быть обусловлена не только условиями ведения процесса, но и поступлением больших масс промышленных несбраживаемых примесей. Если таковые отсутствуют, то повышение нагрузки, сопровождаемое снижением фактического распада, свидетельствует о вымывании культуры метанообразующих бактерий, перегрузке имеющейся биомассы, надвигающейся угрозе дестабилизации процесса.

Интенсификация процесса анаэробного сбраживания производится для достижения следующих целей:

- сокращение продолжительности пребывания осадка в метантенках при достижении заданной степени распада с целью уменьшения объемов сооружений, а следовательно, капитальных затрат;
- повышение выделения количества биогаза с целью его использования на обогрев метантенков и дополнительного получения других видов энергии;
- увеличение содержания метана в биогазе с целью повышения его теплоты сгорания и эффективности утилизации;
- достижение хорошего уплотнения и водоотдающих свойств сброженных осадков с целью сокращения затрат на его обезвоживание.

Одним из основных способов интенсификации является повышение концентрации осадков и биомассы (микроорганизмов) в метантенке.

В соответствии с традиционной технологией сбраживания в метантенк загружается смесь сырого осадка из первичных отстойников и уплотненного избыточного активного ила с концентрацией сухого вещества $30...40 кг/м^3$. При такой сравнительно низкой концентрации невозможно поддержать высокую нагрузку по сухому веществу и одновременно обеспечить достаточную продолжительность процесса.

Увеличение концентрации сухого вещества осадка путем предварительного его сгущения позволяет увеличить нагрузку на метантенк и вести процесс при продолжительности, достаточной для предотвращения срывов сбраживания. Для нагрузки с постоянной концентрацией органического вещества C произведение нагрузки d и продолжительности сбраживания t постоянно, т. к. $C = d \cdot t$.

Максимальный поточный выход биогаза на единицу объёма метантенка достигается при оптимальной концентрации органического вещества в загруженном осадке $C_{кр}$, составляющей в зависимости от вида осадка и температуры процесса $65...90 кг/м^3$.

Поскольку зольность осадка при сгущении растет сравнительно медленно, а его плотность близка к $1 т/м^3$, можно считать правомерной прямую пропорциональность концентраций сухого и сухого обезвоженного (органического) вещества жидкотекучих осадков, как видно из данных в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние влажности загруженного осадка на нагрузку метантенка и выход биогаза

Влажность загружаемого осадка, %	Нагрузка по сухому беззольному веществу, кг/(м ³ ·сут)	Время пребывания осадка в метантенке, сут	Удельный выход биогаза, м ³ /кг загружаемого беззольного вещества осадка	Скорость выхода биогаза, м ³ /(м ³ ·сут)
90	2	50	0,8	1,6
	3	33	0,75	2,25
	4	22	0,72	2,88
	5	17	0,6	3,45
93	2	33	0,72	1,44
	3	20	0,68	2,04
	4	17	0,65	2,6
	5	12,5	0,63	3,15
96	2	20	0,62	1,24
	3	14	0,53	1,54
	4	10	0,56	2,24
	5	8	0,54	2,4

В некоторых источниках представлены данные по мезофильному сбраживанию осадков [2], при этом сгущение обеспечивает заметное улучшение показателей процесса, особенно если учесть, что по условиям надежности процесса при сбраживании жидких осадков влажностью 96 % поддерживается нагрузка $d = 2...3$ кг/(м³·сут), а при сбраживании сгущенных осадков, влажностью 90...93 % нагрузку можно увеличить до 4...5 кг/(м³·сут) и более.

Возможны различные технологические схемы сгущения осадков, связанных с совместной или раздельной обработкой осадков первичных отстойников и избыточного активного ила на тех или иных сооружениях и аппаратах за счет гравитационного уплотнения с предварительной аэрацией [3, 4]. Низкотемпературный нагрев уплотненного ила (50...70 °С) позволяет снизить дозы вводимых реагентов при реагентной обработке (коагулянты, флокулянты, известь и другие) иловой смеси [2, 5, 6]. Также применяется напорная флотация активного ила [6, 7, 8].

В таблице 2 приведены сравнительные показатели уплотнения и сгущения активного ила для станций, производительностью 50...280 тыс. м³/сут.

Таблица 2 – Показатели уплотнения и сгущения избыточного активного ила

Показатель	Метод уплотнения или сгущения активного ила			
	гравитационное уплотнение	напорная флотация	сгущение на сепараторах	сгущение на центрифугах
Концентрация сухого вещества, %	2...2,7	3...5	3...6	5...7
Кратность уменьшения объема активного ила	5...6	7...10	7...15	12...17
Расход электроэнергии, тыс. кВт/год	700	665...2600	526...3153	564...1702

Повышение концентрации осадка в метантенках можно достичь путем предварительного сгущения загружаемого осадка или рециркуляцией сброженного осадка. В первом случае в метантенке увеличивается концентрация сбраживаемого субстрата, во втором – биомассы микроорганизмов.

Предварительное сгущение осадка гравитационным уплотнением с применением струйной аэрации [3], центрифугирования и флотации получили распространение в ряде стран. Например, в Швейцарии, Англии практически повсеместно применяется гравитационное уплотнение, а на новых очистных сооружениях – центрифугирование. С 1971 года в Бирмингеме (Англия) осуществлен перевод метантенков на работу с осадками повышенной концентрации, а именно 5...6 % вместо 3...4 %, что достигается двенадцатичасовым

сгущением в илоуплотнителе. Это позволило исключить из эксплуатации один метантенк, одновременно увеличив продолжительность сбраживания с 25 до 36 суток. Причем выход биогаза из каждого метантенка увеличился на 19 %.

Помимо гравитационного и ситового большой интерес представляют флотационный и центробежный способы уплотнения осадков. Флотация, особенно активного ила и его смесь с сырым осадком, применяется за рубежом более полувека. Её использование позволяет сгустить избыточный активный ил до влажности 93...96 % со скоростью в 10...20 раз больше, чем отстаивание.

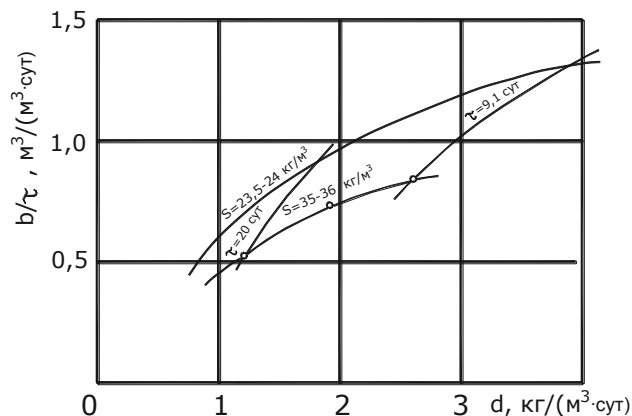
В США сгущают смесь избыточного ила и осадка с исходной концентрацией 2...3 % до 4...5 %, что позволяет в 2 раза уменьшить число метантеков.

В последние годы получили распространение механические аппараты для сгущения высоковлажных суспензий [2, 7].

Таблица 3 – Технические характеристики механических аппаратов для сгущения активного ила

Показатель	Сепаратор НВ-600 (СССР)	Центрифуга ОГШ-501К-10 (СССР)	Центрифуга AVNX-417 фирмы «Альфа-Лаваль» (Швеция)
Производительность, м ³ /ч	25...30	10...16	6...12
Концентрация сгущенного ила, %	6...7	7,5...7	5,5...4,5
Эффективность задержания сухого вещества, %	90...95	93...85	91...74

Сепаратор НВ-600 прошел испытания на станции аэрации г. Первоуральска, а центрифуга ОГШ-501К-10 – на очистных сооружениях г. Шауляя (Литва, СССР). В ходе производственного эксперимента в г. Первоуральске сгущенный активный ил смешивался при температуре 32...39 °С с сырым осадком из первичных отстойников. Сравнительные результаты анаэробного сбраживания приведены на рисунке 2.



b/τ – скорость выхода биогаза;
 d – нагрузка на метантенк по сухому беззольному веществу

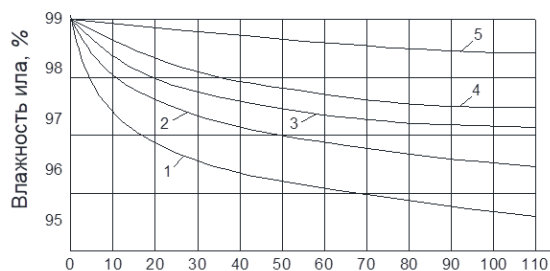
Рисунок 2 – Влияние сгущения активного ила на показатели мезофильного анаэробного сбраживания смеси осадка и активного ила

Сгущение активного ила позволило увеличить концентрацию сухого беззольного вещества в загрузке метантенка с 24 до 36 кг/м³. При одной и той же продолжительности сбраживания $t = 20$ сут расход органического вещества увеличился с 42,9 % до 51,1 %, а скорость выхода биогаза – с 0,52 до 0,92 м³/(м³·сут). Из приведенных данных следует, что, хотя предварительное сгущение увеличивает концентрацию осадка, она все же остается существенно ниже критической и, следовательно, имеющиеся возможности интенсификации процесса остаются в значительной степени нереализованными.

Наиболее простой и дешевый способ концентрирования (уплотнения) достигается флотацией (всплыванием) совместно уплотняемых осадка и избыточного активного ила.

Флотация твердой фазы наблюдается при насыщении суспензии воздухом или другим газом, пузырьки которого поднимаясь вверх увлекают за собой твердые частицы, что приводит к разделению суспензии на фазы. Применение флотации наиболее эффективно при разделении тонкодисперсных суспензий, в частности активного ила.

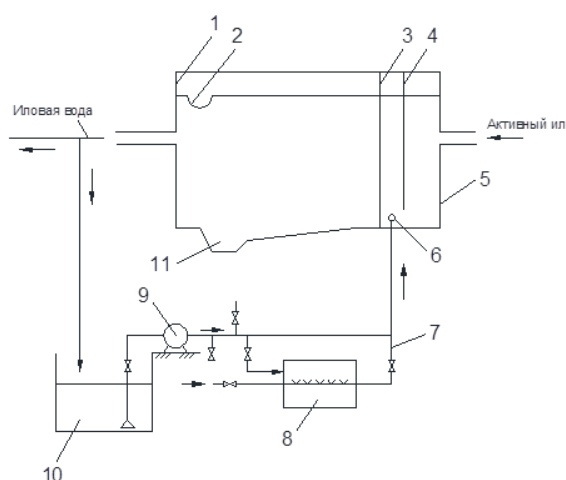
Во флотаторах-уплотнителях поступающий осадок предварительно насыщается воздухом под давлением 0,3...0,5 МПа. Влажность ила после флотации снижается с 97,7...99,5 % до 92,6...96,3 % (рисунок 3), а объем осадка уменьшается в 3...7 раз. Иловая вода содержит до 400...800 мг/л взвешенных веществ.



Продолжительность флотации, мин
 1 – флотация при давлении 0,5 МПа,
 2 – флотация при давлении 0,4 МПа,
 3 – флотация при давлении 0,3 МПа,
 4 – флотация при давлении 0,2 МПа, 5 – отставания

Рисунок 3 – Зависимость снижения влажности ила от продолжительности флотации и отставания

При напорной флотации объем активного ила сокращается в 2...4 раза в зависимости от давления и продолжительности уплотнения. При химической флотации (введение в ил реагентов, выделяющих в жидкость газ) эффективность повышается до 7 раз, а при электрофлотации и непосредственном диспергировании воздуха – на 30...60 %. В РФ успешно эксплуатируются установки для уплотнения активного ила напорной флотацией. Наибольший эффект достигается при насыщении воздухом не активного ила, а иловой воды или другой рабочей жидкости, которая циркулирует в системе: насос – напорный бак-флотатор (рисунок 4). Количество рабочей жидкости в 2...3 раза превышает объем активного ила.



1 – выходная перегородка; 2 – сборный лоток уплотненного осадка; 3 – дырчатая перегородка; 4 – входная перегородка с донным отверстием; 5 – флотатор; 6 – распределительная труба водовоздушной эмульсии; 7 – водовоздушная эмульсия; 8 – напорный бак; 9 – насос для перекачивания жидкости; 10 – бак для рабочей жидкости; 11 – приемок для удаления осадка (тяжелая фракция)

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки напорной флотации для уплотнения активного ила

Рекомендуются следующие характеристики напорного бака:

- продолжительность пребывания рабочей жидкости 2...3 мин;
- давление воздуха – 0,3...0,5 МПа;
- расход воздуха 10...12 литров на 1 кг актиала;
- продолжительность флотации 0,7...1,0 час.

При этом вместимость резервуаров рассчитывается на суммарный объем смеси активного ила и рабочей жидкости.

Влияние температуры

Диапазон температур, при котором возможно анаэробное сбраживание с выделением метана – от 0 до 97 °С.

Оптимальные температуры для анаэробного метанового сбраживания в психрофильной зоне 15...17 °С, в мезофильной 33...35 °С, и в термофильной 53...55 °С.

Процесс брожения необходимо осуществлять при оптимальном температурном режиме, даже кратковременные нарушения которого, особенно в сторону снижения температуры, приводит к торможению стадии метаногенеза. Чем выше температура сбраживания, тем ниже допустимые пределы колебаний. При $t = 38$ °С допустимые пределы колебаний составляют $\pm 2,8$ °С.

Температурный режим сбраживания тесно связан с временем пребывания в метантенках. Нарушение оптимального температурного режима оказывает сильное отрицательное влияние на процесс при коротком времени пребывания, так как при этом обычно продолжается функционирование быстрорастущих кислотообразующих микроорганизмов при торможении активности метаногенов и их вымыванию из системы. Чем больше сырого осадка загружено в метантенк, тем больше требуется времени для восстановления процесса брожения после доведения температуры до расчетной. Поэтому при нарушении температурного режима работы метантенков и появления первых признаков нарушения процесса (уменьшение выхода биогаза и содержания в нем метана, повышение содержания в иловой воде летучих жирных кислот) необходимо снижать дозу загрузки в метантенке.

В Англии разработан процесс «ускоренной холодной стабилизации», заключающийся в смешении нагретого стабилизированного в мезофильных условиях осадка с сырым и последующей выгрузке этой смеси в анаэробную лагуну, где стабилизация происходит во много раз быстрее, чем ненагретого осадка. Такой прием рекомендуется для перегруженных очистных сооружений.

Аэробно-анаэробная стабилизация осадков

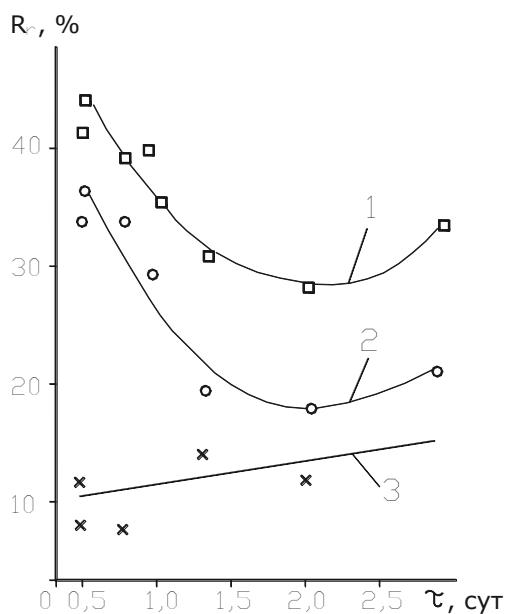
В связи с ужесточением санитарно-гигиенических требований к сброженным осадкам при их использовании в сельском хозяйстве в западной Европе и Америке получила распространение аэробная термофильная стабилизация, которая в сочетании с мезофильным сбраживанием обеспечивает биологическую стабилизацию и обеззараживание осадков, получение энергии в виде биогаза, а в некоторых вариантах – улучшение водоотдающих свойств осадка.

Технология анаэробного сбраживания с предварительной или завершающей аэробной стадией базируется на использовании особенностей микроорганизмов, осуществляющих эти процессы и на их различном отношении к факторам окружающей среды (таблица 4).

Таблица 4 – Особенности аэробных и анаэробных микробиологических процессов

Показатель	Процесс	
	аэробный	анаэробный
Процент биологически используемой энергии	высокий	низкий
Саморазогрев осадка	есть	нет
Энергетический уровень конечного продукта	низкий	высокий
Степень минерализации исходного продукта	глубокая	менее глубокая
Прирост микроорганизмов	высокий	низкий
Биохимические превращения, лежащие в основе процесса	одностадийные упрощенные	многостадийные сложные
Чувствительность к внешним факторам	низкая	высокая
Получение энергии	нет	есть
Затраты энергии	большие	малые
Водоотдающие свойства осадка	улучшаются или ухудшаются в зависимости от технологических параметров	

Предварительная аэробная обработка в течение 1...2 суток перед анаэробным сбраживанием оказывает значительное влияние на общий итог стабилизации по выходу биогаза и снижении концентрации органических веществ (рисунок 6) [9]. Аэрирование в течение этого времени осадка на I-ой ступени снижает концентрацию органического вещества и тем самым нагрузку на II-ую анаэробную ступень. Дальнейшее увеличение продолжительности аэробной переработки приводит к существенному увеличению степени аэробного окисления органических веществ (снижение отношения БПК/ХПК) и уменьшению содержания биогаза в анаэробной ступени, при этом состав газа и его теплота сгорания не отличается от обычного одноступенчатого процесса. Согласно требованиям ЕПА (Агентства по охране окружающей среды США) общий распад органического сухого вещества осадка при стабилизации должен быть не менее 38 %. Чтобы выполнить это требование, продолжительность аэробного процесса (при продолжительности пребывания осадка в анаэробной ступени 8 сут при температуре $t = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$) не должна превышать 1 сут (рисунок 5):



1 – аэробно-анаэробная стабилизация; 2 – анаэробный реактор ($\tau = 8\text{ сут}$); 3 – аэробный реактор

Рисунок 5 – Зависимость распада осадка при аэробно-анаэробной стабилизации R_r от времени пребывания в аэробной ступени τ

В результате метаболической активности аэробных организмов высвобождается большое количество энергии, что приводит к повышению температуры в реакторе. Основными факторами, влияющими на степень повышения температуры, является эффективность переноса кислорода, превышающая 10 % (т. е. в биохимических реакторах должно потребляться более 10 % подаваемого кислорода при тщательном перемешивании). Считается, что при распаде 1 г органического вещества осадка (ХПК) выделяется 15 кДж энергии и достигается повышение температуры на 2,4...2,6 $^{\circ}\text{C}$. За 1...2 сут аэробной стабилизации степень снижения ХПК сырого осадка составляет 11,5 %, что при ХПК сырого осадка 8...10 г/л достаточно для повышения температуры до 60 $^{\circ}\text{C}$, благодаря чему достигается обеззараживание осадка для комбинированной аэробно-анаэробной схемы сбраживания. Для данной схемы рекомендуемые технологические параметры приводятся в таблице 5.

Имеющийся в США практический опыт применения аэробно-анаэробного процесса стабилизации осадка свидетельствует о его большой надежности и устойчивости в условиях неравномерного поступления осадков, при наличии в нем токсичных для анаэробных процессов веществ. Для поддержания необходимой температуры в аэробном реакторе он должен быть перекрыт и теплоизолирован. Кроме того, необходимо, особенно при низких температурах, обеспечить систему рекуперации теплоты стабилизированного осадка

и даже его подогрев. Для растворения необходимого количества кислорода воздуха перспективны пневмо-струйные системы аэрации, разработанные на кафедре ВВиОВР УО «БрГТУ» [10, 11]

Таблица 5 – Рекомендуемые параметры аэробно-анаэробного сбраживания

Параметр	I-я стадия (аэробная)	II-я стадия (анаэробная)
Время пребывания, сут	0,5	8
Нагрузка по органическому веществу, кг/м ³ ·сут	60	3,5
Температура, $^{\circ}\text{C}$	55	35
Расход энергии, Вт/м ³	120	5
Снижение концентрации органического вещества, %	8	35
Образование теплоты в биологическом процессе распада органического вещества, кДж/кг	50 000	–
Выход биогаза, м ³ /кг органического вещества	–	0,3

Очистка возвратных потоков от соединений азота и фосфора

Возвратные потоки от сооружений обработки осадка сточных вод содержат высокие концентрации азота и фосфора. При подаче их в «голову» сооружений значительно увеличивается (до 30 %) нагрузка на стадию биологической очистки (аэротенки), вызывая снижение эффективности очистки сточных вод. Для стабильного достижения нормативного качества очистки сточной воды целесообразно предусматривать стадию очистки возвратных потоков. Для очистки стоков такого типа от аммонийного азота в последнее время находят применение технология Анаммокс [12].

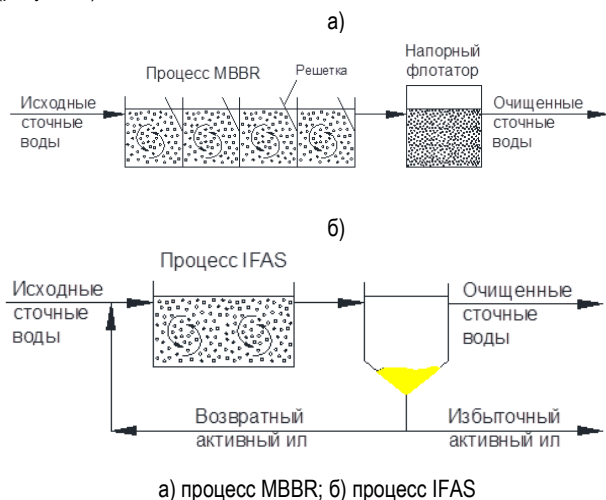
Технологии на основе процесса Анаммокс были разработаны для очистки сточных вод с высокими концентрациями аммония N-NH₄ (до 2000 мг/л) и низким содержанием органического вещества, недостаточного для рутинного процесса нитриденитрификации (отношение БПК/N < 1,7 для денитрификации через нитрит и БПК/N < 2,8 для денитрификации через нитрат). Технологии типа Анаммокс основаны на двух самостоятельных микробиологических процессах: частичной нитрификации (нитритирование), которая включает окисление половины аммония до нитрита, и анаэробном (аноксидном) окислении аммония нитритом до молекулярного азота (непосредственно процесс Анаммокс). Технологии типа Анаммокс рассматриваются как перспективные для обработки сточных вод с низким отношением C/N. Экономически, технологически и экологически эта технология очень привлекательна по сравнению с классическими вариантами биологического удаления азота.

В процессе Анаммокс потребность в органическом веществе отсутствует, потребность в кислороде снижается на 60 %, что приводит к значительному снижению энергопотребления – расход энергии на удаление единицы массы азота снижается в 2–3 раза. Прирост она снижается на 90 %, и, как следствие, сокращаются затраты на переработку и утилизацию осадка сточных вод. Технологии с использованием процесса Анаммокс оказывают значительно меньший парниковый эффект. Образование углекислоты в расчете на 1 кг удаленного азота снижается по сравнению традиционными процессами в 6...10 раз, а закись азота N₂O в промежуточных реакциях не образуется. Реакторы для удаления азота компактны и занимают меньше места, чем работающие по традиционному процессу нитриденитрификации.

Важной особенностью анаммокс-бактерий является их высокая адгезионная способность, они легко формируют агрегаты, биопленки. Для них рост в агрегированном состоянии является более предпочтительным, чем в свободноплавающем. Это свойство является ценным для создания биотехнологий очистки воды, так как относительно просто осуществляются приемы удержания ценной медленно растущей биомассы анаммокс-бактерий в биореакторах путем использования плавающих или прикрепленных загрузкиемых материалов.

В биореакторах Анаммокс располагается плавающая загрузка с системой удержания ее в реакторе. Реактор проточного типа, смеситель со строго контролируруемыми значениями температуры,

растворенного кислорода, pH, расхода и концентрации нитритов. Иловая смесь из биореактора пропускается через удерживающее загрузку устройство и направляется во вторичный отстойник. Технологию Анаммок предлагается реализовывать на основе схемы IFAS (рисунок 6).



а) процесс MBBR; б) процесс IFAS

Рисунок 6 – Типовые схемы потоков для процессов

У данной схемы есть ряд преимуществ перед стандартной схемой MBBR. А именно, в случае проскока через удерживающее устройство элементы загрузки попадут в первую очередь во вторичный отстойник, после чего могут быть возвращены обратно в биореактор. Риск потери биомассы Анаммок в этом случае минимален. Дополнительным фактором является то, что, по данным европейских исследований, схема IFAS позволяет наращивать мощность сооружений [3].

Удаление соединений фосфора с получением минерального удобрения – струвита

Для повышения эффективности очистки по соединениям фосфора, а также для возврата фосфора в почву в качестве удобрения предлагается использовать на локальных очистных сооружениях (ЛОС) процесс получения минерального удобрения из возвратных потоков от сооружений обработки осадка. Этот процесс основан на управляемом осаждении струвита.

Струвит является кристаллическим минералом, состоящим из аммония, магния и фосфора $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$, который образуется, когда в растворе присутствует каждый из этих ионов в концентрациях выше точки насыщения раствора. Процесс основан на добавлении одного или двух из этих реагентов с целью интенсификации образования струвита и в результате их удаления. Для очистки коммунальных стоков лимитирующим ионом является магний и поэтому требуется его добавление для удаления фосфора [4].

Процесс может обеспечить эффективность удаления фосфора 90 % и его можно адаптировать для технических и экономических условий каждого объекта. Точка насыщения раствора значительно зависит от pH, поэтому для увеличения производительности может потребоваться корректировка щелочности потока. Обычно процесс проводится в диапазоне pH 7...8. Образование гранул удобрения (струвита) начинается с микроскопических кристаллов, которые образуются в реакторе и затем растут и превращаются в слой струвита. В результате получаются достаточно чистые кристаллические гранулы струвита, которые выводятся из реактора после достижения оптимального размера для использования в качестве удобрения.

Заключение

По результатам проведенных исследований состава, количества и свойства осадка, поступающего на БМПЗ, а также анализа современных перспективных технологий его предварительной обработки с целью повышения эффективности его сбраживания и соблюдения санитарно-гигиенических требований к сброженным осадкам для использования их в сельском хозяйстве кафедрой ВВиОВР УО «БрГТУ» предлагается усовершенствованная комплексная технологическая схема обработки осадка на БМПЗ (рисунок 7).

Предлагаемая технологическая схема по сравнению с существующей включает новые технологические процессы с целью выхода на оптимальные параметры сбраживания осадка (температура 40 °С, влажность 94 %) и заключается в двухступенчатой технологии аэробно-термофильной – анаэробно-мезофильной стабилизации, напорной флотации избыточного активного ила, очистку возвратных потоков по технологии Анаммок.

Предлагаемая технология обработки осадков является перспективной, так как без больших капитальных затрат и без существенной реорганизации производства позволит достичь интенсификации процесса метанового брожения, очистки возвратных потоков и снизить до 30 % нагрузку на городские очистные сооружения.

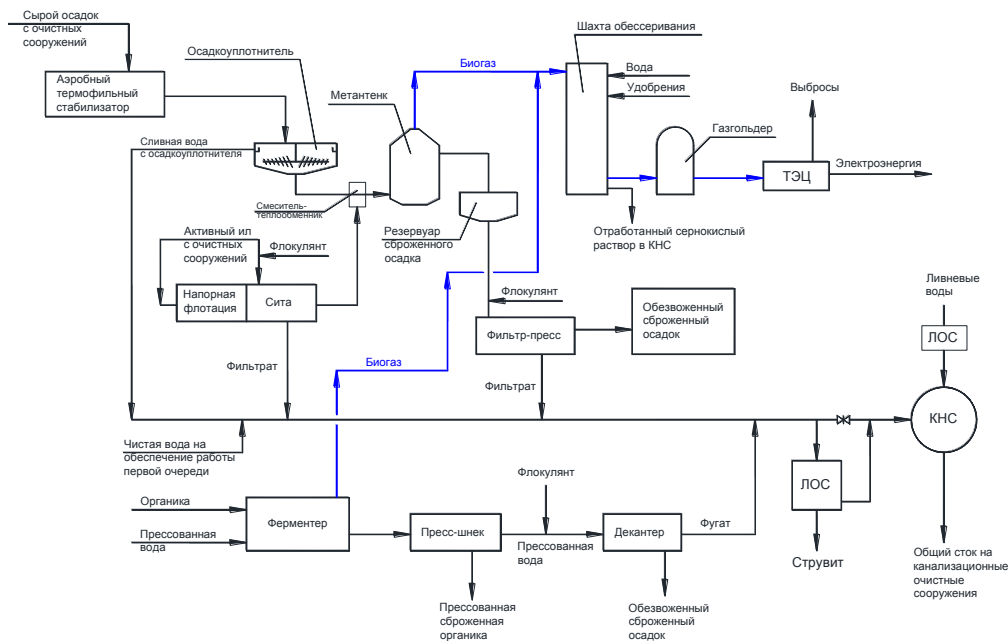


Рисунок 7 – Предлагаемая технологическая схема сооружений по обработке осадков на Брестском мусороперерабатывающем заводе

Список цитированных источников

1. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / Под ред. В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1988. – 383 с.
2. Туровский, И. С. Обработка осадков сточных вод / И. С. Туровский. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.
3. Фростер, К. Ф. Экологическая биотехнология / К. Ф. Фростер, Д. А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 160 с.
4. Кулаков, А. А. Совершенствование методов обработки осадков городских сточных вод. А. А. Кулаков, Е. М. Терехова, Н. А. Кучевал // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 5. – С. 16–20.
5. Луков, С. А. Совершенствование технологии обработки осадков сточных вод крупных городов (на примере г. Нижний Новгород): дис. к.т.н.: 05.23.04 / С. А. Луков. – Нижний Новгород, 2007. – 204 с.
6. Рубчак, Н. Ю. Сооружения для обработки осадков городских сточных вод / Н. Ю. Рубчак, М. Н. Сирота. – М.: Стройиздат. – 1978. – 216 с.
7. Пугачев, Е. А. Процессы и аппараты обработки осадков сточных вод / Е. А. Пугачев. – М.: Издательство АСВ. – 2012. – 143 с.
8. Авторское свидетельство СССР № 1118623 С 02 F 11/12 Струститель осадка / Е. И. Дмухайло, В. С. Северянин; блок № 5; Брестский политехнический институт, 1993 г.
9. Гюнтер, Л. И. Метатенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М.: Стройиздат, 1991. – 129 с.
10. Белов С. Г. Пневмогидравлический диспергатор «Торнадо» / С. Г. Белов, Г. О. Наумчик, В. С. Белов // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания: материалы IV Международной научно-практической конференции, Брест, 25–27 сентября 2013 г. / БрГТУ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] – Брест, 2013. – С. 7–12.
11. Дмухайло, В. И. Энергоэффективная система струйной аэрации для биохимической очистки сточных вод и образования осадка / Е. И. Дмухайло, С. Г. Белов, В. С. Белов // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара, Брест, 25 марта 2016 г. / БрГТУ; под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест, 2016. – С. 67–68.
12. Понамаренко Д. Ю. Инновационные направления развития люберецких очистных сооружений / А. М. Понамаренко, Д. Ю. Власов, Н. А. Беновидр // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 1. – С. 46–49.

References

1. Eksploataciya sistem vodosnabzheniya, kanalizacii i gazosnabzheniya: Spravochnik / Pod red. V. D. Dmitrieva, B. G. Mishukova. – 3-e izd., pererab. i dop. – L.: Strojizdat, 1988. – 383 s.
2. Turovskij, I. S. Obrabotka osadkov stochnyh vod / I. S. Turovskij. – M.: Strojizdat, 1975. – 192 s.
3. Froster, K. F. Ekologicheskaya biotekhnolgiya / K. F. Froster, D. A. Dzh. Vejza. – L.: Himiya, 1990. – 160 s.
4. Kulakov, A. A. Sovershenstvovanie metodov obrabotki osadkov gorodskih stochnyh vod. A. A. Kulakov, E. M. Terekhova, N. A. Kuceval // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2018. – № 5. – S. 16–20.
5. Lukov, S. A. Sovershenstvovanie tekhnologii obrabotki osadkov stochnyh vod krupnyh gorodov (na primere g. Nizhnij Novgorod): dis. k.t.n.: 05.23.04 / S. A. Lukov. – Nizhnij Novgorod, 2007. – 204 s.
6. Rubchak, N. YU. Sooruzheniya dlya obrabotki osadkov gorodskih stochnyh vod / N. YU. Rubchak, M. N. Sirota. – M.: Strojizdat. – 1978. – 216 s.
7. Pugachev, E. A. Processy i apparaty obrabotki osadkov stochnyh vod / E. A. Pugachev. – M.: Izdatel'stvo ASV. – 2012. – 143 s.
8. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 1118623 S 02 F 11/12 Sgustitel' osadka / E. I. Dmuhajlo, V. S. Severyanin; blok № 5; Brestskij politekhnicheskij institut, 1993 g.
9. Gyunter, L. I. Metatenki / L. I. Gyunter, L. L. Gol'dfarb. – M.: Strojizdat, 1991. – 129 s.
10. Belov S. G. Pnevmo gidravlicheskiy dispergator «Tornado» / S. G. Belov, G. O. Naumchik, V. S. Belov // Aktual'nye nauchno-tekhnicheskie i ekologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya: materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Brest, 25–27 sentyabrya 2013 g. / BrGTU; redkol.: A. A. Volchek [i dr.] – Brest, 2013. – S. 7–12.
11. Dmuhajlo, V. I. Energoeffektivnaya sistema strujnoj aeracii dlya biokhimicheskoj ochistki stochnyh vod i obrazovaniya osadka / E. I. Dmuhajlo, S. G. Belov, V. S. Belov // Problemy energeticheskoy effektivnosti v razlichnyh otraslyah: materialy nauchnogo seminara, Brest, 25 marta 2016 g. / BrGTU; pod red. V. S. Severyanina, V. G. Novosel'ceva. – Brest, 2016. – S. 67–68.
12. Ponomarenko D. Yu. Innovacionnye napravleniya razvitiya lyubeckih ochistnyh sooruzhenij / A. M. Ponomarenko, D. YU. Vlasov, N. A. Benovidr // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2021. – № 1. – S. 46–49.

Материал поступил в редакцию 26.01.2022