

EDN: DFKVJG

УДК 504.062:628.35

**В. В. МАРКИН**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССА АНАММОХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

**Аннотация.** Очистка сточных вод от биогенных элементов является важной задачей, направленной на сохранение природных водоемов от техногенной эвтрофикации. С открытием процесса анаэробного окисления аммония (ANAMMOX) появилась возможность осуществлять очистку сточных вод от соединений азота более экономичным способом. Однако в связи с физиологическими особенностями анаммокс-бактерий большая часть разработанных технологий, основанных на анаммокс-процессе, предназначены для обработки сточных вод специфического состава и свойств: с повышенной температурой, высоким содержанием азота и низкой концентрацией органических веществ. В данной работе изучены основные технологии очистки сточных вод с применением процесса анаммокс, определена наиболее подходящая технология для обработки бытовых стоков – DEAMOX и разработано предложение по ее улучшению.

**Ключевые слова:** сточные воды, биологическая очистка, анаэробное окисление аммония, ANAMMOX, SHARON, CANON, DEMON, DEMOX, азот, фосфор.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Существование процесса анаэробного окисления аммония (ANAerobic AMmonium OXidation) – ANAMMOX – было предсказано термодинамическими расчетами в конце XX в., в 90-е годы данный процесс был подтвержден экспериментально, а в 1999 г. открыты анаммокс-бактерии [1]. Открытие анаммокс-процесса существенно изменило представление науки о круговороте азота в природе, так как до этого считалось, что трансформация минеральных соединений азота в газообразный  $N_2$  происходит за счет денитрификации. Анаммокс же – более короткий и менее энергозатратный путь получения  $N_2$ , заключающийся в окислении аммония кислородом нитритов.

Открытие этого процесса создало перспективы для совершенствования биологической очистки сточных вод (СВ). Процесс анаммокс имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными процессами нитрификации-денитрификации: отсутствует потребность в органическом веществе; потребность в кислороде снижается на 60 %; прирост ила сокращается на 90 %; образование  $CO_2$  в расчете на 1 кг удаленного азота уменьшается в 6–10 раз. Однако некоторые особенности физиологии анаммокс-бактерий являются серьезной преградой для их широкомасштабного использования, а именно: низкие скорости роста и слабая адаптационная способность к различным факторам (концентрации токсичных веществ, резким изменениям нагрузки по субстратам, pH, температуры и др.).

В настоящее время в мире эксплуатируется около 100 производственных установок процесса анаммокс, но большая часть из них используется для очистки специфических СВ, содержащих высокие концентрации азота, низкие концентрации органических веществ и повышенную температуру. К таким СВ относятся иловые воды метантенков, стоки пищевой промышленности, животноводческих и птицеводческих ферм. Для подобных СВ анаммокс является наилучшим вариантом очистки от соединений азота. Тем не менее преимущества анаммокс-процесса делают актуальным его применение и для очистки хозяйственно-бытовых, а также близких к ним по составу производственных СВ.

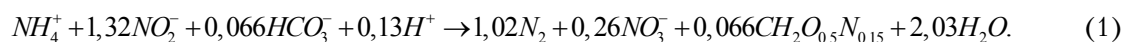
**Целью данной работы** является изучение разработанных технологий очистки СВ с процессом анаммокс и определение перспективности их использования для обработки хозяйственно-бытовых стоков.

© В. В. Маркин, 2022



## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

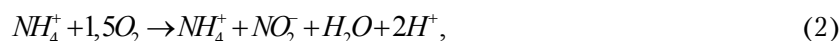
Анаммокс-бактерии являются анаэробными хемолитоавтотрофами. Они получают энергию за счет окисления аммония нитритом и используют в качестве источника углерода углекислый газ. Полное уравнение катаболических и анаболических реакций имеет вид [2]:



Аммоний и нитрит потребляются в соотношении 1:1,32. Основным продуктом анаммокс-реакции является молекулярный азот, а также до 10 % азота превращается в нитрат.

Развитие анаммокс-бактерий в природных условиях зафиксировано в пределах температур от  $-2$  до  $80$  °С. Однако у изученных бактерий, взятых из ила канализационных очистных сооружений, оптимальные температуры роста составляют  $25...35$  °С при общем диапазоне роста  $-10...40$  °С [3]. При отклонении температуры от оптимального диапазона снижается и скорость роста. Например, в работе [3] установлено, что при  $10...15$  °С скорость роста снижается примерно в 2,5 раза, а при  $20$  °С – в 1,5 раза по сравнению со скоростью при оптимальной температуре. Анаммокс-процесс протекает в интервале рН от 6 до 9 с оптимумом  $-7...8$ , по другим данным – в интервале от 6,7 до 9,1 с оптимумом  $-7,5...8,0$  [3]. Анаммокс-бактерии являются облигатными анаэробами и теряют активность в аэробных условиях. Однако, ингибирование является обратимым, что позволяет при чередовании аэробных и анаэробных условий проводить процессы частичной нитрификации и анаммокс [4]. Время удвоения анаммокс-бактерий составляет не менее 11 суток [2].

Для осуществления процесса анаммокс необходимо прежде всего наличие субстратов: ионов аммония и нитритов. Поскольку в исходных СВ азот содержится в основном в аммонийной форме, то предварительно необходимо окислить его часть до нитритов (нитритация). Стадии удаления аммония при сочетании нитритации и анаммокс-процесса в упрощенном виде описываются следующими уравнениями:



Большая часть исследователей отмечает, что условия классической биологической очистки в аэротенках со взвешенным илом и рециркуляцией не подходят для культивирования анаммокс-бактерий. Вследствие постоянного потока и рецикла активный ил (АИ) подвергается резкой смене условий среды, что оказывает отрицательное влияние на медленно растущие анаммокс-бактерии и происходит их вымывание из реактора [5].

До настоящего времени разработаны следующие технологии реализации анаммокс-процесса: SHARON-ANAMMOX, CANON, OLAND, DEMON, DEAMOX и др.

В технологии SHARON-ANAMMOX СВ сначала поступают в биореактор SHARON, где примерно половина аммония окисляется до нитритов, после чего направляются в биореактор ANAMMOX. SHARON – биореактор проточного действия с периодической аэрацией и механическим перемешиванием. В биореакторе SHARON создаются условия для развития аммонийоксилирующих бактерий (АОБ) и предотвращения роста нитритоксилирующих бактерий (НОБ). Такие условия создаются поддержанием температуры СВ на уровне  $35$  °С и регулированием времени пребывания. При указанной температуре скорость роста АОБ выше, чем НОБ. Время пребывания регулируется так, чтобы оно было достаточным для накопления АОБ, но недостаточным для накопления НОБ, в результате чего последние вымываются из биореактора [6]. Второстепенными факторами регулирования процесса нитритации являются рН и концентрация  $O_2$ . Константа насыщения  $O_2$  у АОБ составляет  $0,3$  мг $O_2$ /л, а у НОБ  $1,1$  мг $O_2$ /л, поэтому при лимитировании растворенного кислорода (даже на уровне  $1$  мг $O_2$ /л) АОБ вытесняют НОБ. Темпы роста НОБ при рН = 7 в восемь раз выше, чем при рН = 8, в то время как влияние рН на рост АОБ является незначительным, поэтому процесс нитритации рекомендуется производить в слабощелочных условиях. Процесс анаммокс в технологии SHARON-ANAMMOX реализован в SBR-реакторе периодического действия с поочередным заполнением, отстаиванием и выведением фаз. В таких условиях анаммокс-бактерии формируют гранулы размером до нескольких миллиметров. Технология SHARON-ANAMMOX была применена впервые на очистных сооружениях в Роттердаме для очистки фильтрата анаэробно сброженных осадков. Для выхода на рабочий режим производственной установки потребовалось 3,5 года. Эффективность удаления аммония составила 80 % при нагрузке по азоту  $1,2$  кгN/(м<sup>3</sup>·сут). Начальная концентрация

аммония находилась на уровне 1 500 мг/л [6]. В дальнейшем время запуска биореакторов этого типа было снижено.

В настоящее время большей популярностью пользуются однореакторные технологии анаммокс, одной из которых является CANON. В этой технологии используется сочетание нитритации и анаммокс в одном биореакторе, в котором АОБ, окисляя аммоний в нитрит, потребляют кислород и создают тем самым анаэробные условия для развития анаммокс-бактерий. Основными факторами сдерживания роста НОБ являются регулирование содержания растворенного кислорода на уровне 0,2...0,3 мгО<sub>2</sub>/л и нагрузка по аммонiu. Температурный диапазон технологии CANON более широкий, чем SHARON-ANAMMOX, и составляет от 18 до 35 °С. Объемная скорость удаления азота по технологии CANON в SBR-реакторе составляет в среднем 810 гN/(м<sup>3</sup>·сут) [7].

Еще одна распространенная однореакторная технология процесса анаммокс-DEMON. Данная технология реализуется в биореакторах типа SBR. Содержимое биореактора циклически аэрируется и перемешивается. Процесс регулируется автоматически по трем параметрам: рН, концентрации О<sub>2</sub> (поддерживается на уровне около 0,5 мгО<sub>2</sub>/л) и времени обработки. Особенностью этой технологии является разделение иловой смеси в гидроциклоне, при котором гранулы с анаммокс-бактериями и АОБ возвращаются в биореактор, а меньшие по размерам биофлокулы с АОБ и НОБ удаляются. Благодаря этому в биореакторе накапливается масса анаммокс-бактерий. Биореакторы DEMON рассчитаны на нагрузку 600...1 200 гN/(м<sup>3</sup>·сут) с эффектом удаления общего азота 85...90 % [8].

Все рассмотренные выше технологии требуют строгого контроля и соблюдения ряда условий проведения процесса, которые довольно сложно выдержать в производственных масштабах. Для преодоления указанных недостатков была разработана альтернативная технология с применением анаммокс-процесса – DEAMOX. Суть технологии заключается в разделении расхода СВ на два равных потока, один из которых направляется в реактор полной нитрификации, в котором аммиак окисляется до нитритов и нитратов. При этом не ставится задача получения только нитритов, поэтому процесс не требует специального контроля. Далее нитрифицированные СВ смешиваются в DEAMOX-реакторе со второй половиной СВ, в которой присутствует некоторое количество донора электронов (органики или сульфидов). Количество восстановителей должно быть таким, чтобы в DEAMOX-реакторе произошел неполный процесс денитрификации: нитраты восстановились до нитритов. В этом случае в DEAMOX-реакторе будут созданы условия для развития анаммокс-бактерий. Для стабильной работы DEAMOX-реактора соотношение ХПК/N должно быть в пределах 2,0...3,5. Процесс DEAMOX был исследован в лабораторных условиях в USAВ-реакторах при нагрузке по азоту около 400 мгN/(л·сут). В результате, удаление общего азота составило около 87 % [9].

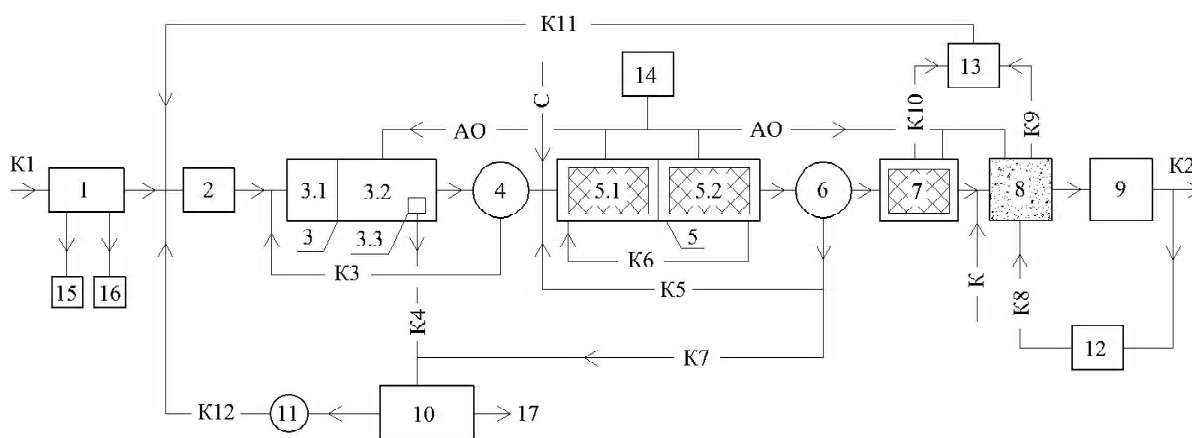
В промышленном масштабе процесс DEAMOX был реализован для очистки хозяйственно-бытовых СВ в несколько измененном и дополненном виде, получившем название БХ-DEAMOX. По этой технологии СВ подвергаются вначале физико-химической очистке (коагуляции и отстаиванию в тонкослойном отстойнике), при которой на 50...70 % снижается БПК. Далее СВ делятся на два равных потока, один из которых направляется в биореактор полной нитрификации, после чего подается в аноксидный биореактор, в который поступает также второй поток. В обоих биореакторах устанавливается ершевая загрузка для прикрепления активной биомассы. В аноксидный биореактор СВ поступают сверху-вниз. По мере прохождения стоков через загрузку в верхних слоях происходит процесс частичной денитрификации и образуются нитриты. После исчерпания органических веществ в средней и нижней зоне загрузки создаются условия для протекания анаммокс-процесса. Из нижней части аноксидного реактора СВ отводятся в аэробный биореактор доочистки с ершевой загрузкой, где происходит окисление остаточных количеств аммонийного и нитритного азота. Далее в СВ добавляется реагент для связывания остаточного фосфора, после чего стоки фильтруются через антрацитовый фильтр [10]. Разработана также и альтернативная схема БХ-DEAMOX, в которой весь поток СВ после физико-химической очистки направляется сначала в аноксидный биореактор, куда перекачивается также иловая смесь из конца нитрификатора, и уже потом подается в нитрификатор. Общая эффективность очистки бытовых СВ по данной технологии заявлена до уровня требований к воде водоемов рыбохозяйственного назначения [11].

Преимуществами технологии БХ-DEAMOX по сравнению с другими технологиями являются: отсутствие сложного контроля за образованием нитритов; увеличение дозы ила за счет применения насадок; возможность осуществления процесса анаммокс при низких температурах (8...15 °С) (снижение активности анаммокс-бактерий компенсируется более высокой дозой ила).

Таким образом, из всех рассмотренных технологий именно БХ-DEAMOX лучше всего подходит для очистки хозяйственно-бытовых СВ. Однако эта технология имеет существенный недостаток: предварительная физико-химическая очистка с введением коагулянтов увеличивает эксплуатационные затраты и приводит к загрязнению осадков железом или алюминием, что делает невозможным их утилизацию в качестве ценных органических удобрений.

Для устранения указанного недостатка предлагается изменить технологию БХ-DEAMOX и вместо предварительной физико-химической очистки осуществлять предварительную биологическую очистку в биореакторах с анаэробной и аэробной зонами и последующим вторичным отстаиванием. Это позволит снизить до требуемых значений изначально неблагоприятное для технологии DEAMOX соотношение ХПК/Н в бытовых СВ (8...12), а также очищать СВ от фосфатов хорошо известным улучшенным способом биологического удаления фосфора. После прохождения предварительной биологической очистки, СВ могут быть направлены в биореакторы удаления азота по технологии DEAMOX.

Принципиальная схема очистной станции с предлагаемой технологией представлена на рисунке.



**Рисунок** – Принципиальная схема очистной станции бытовых СВ с применением технологии улучшенного биологического удаления фосфора и технологии DEAMOX: 1 – блок грубой механической очистки; 2 – усреднитель; 3 – биореактор 1-й ступени; 3.1 – анаэробная зона; 3.2 – аэробная зона; 3.3 – тонкослойный илоотделитель; 4 – вторичный отстойник 1-й ступени; 5 – биореактор 2-й ступени с загрузкой; 5.1 – аноксидная зона (процесс DEAMOX); 5.2 – аэробная зона (нитрификатор); 6 – вторичный отстойник 2-й ступени; 7 – биореактор доочистки; 8 – угольный фильтр; 9 – блок УФ-обеззараживания; 10 – блок мех. обработки избыточного ила; 11 – н/ст. фильтрата; 12 – н/ст. технической воды; 13 – н/ст. регенерационной и промывной воды; 14 – компрессорная; 15 – накопитель отбросов; 16 – накопитель песка; 17 – высушенный осадок; К1 – исходные СВ; К2 – очищенные СВ; К3 – циркулирующий АИ 1-й ступени; К4 – избыточный АИ 1-й ступени; К5 – циркулирующий АИ 2-й ступени; К6 – нитратный рецикл; К7 – избыточный АИ 2-й ступени; К8 – техническая вода; К9 – промывная вода; К10 – регенерационная вода; К11 – регенерационная и промывная вода в усреднитель; К12 – фильтрат; АО – воздух; К – раствор коагулянта; С – раствор  $\text{NaHCO}_3$ .

Работает предлагаемая схема следующим образом. СВ проходят грубую механическую очистку на решетке, песколовке и поступают в усреднитель. Из усреднителя СВ направляются в анаэробную зону биореактора 1-й ступени, куда также подается циркулирующий АИ из вторичного отстойника 1-й ступени. В анаэробной зоне АИ потребляет легко окисляемую органику, при этом внутриклеточные полифосфатные связи разрываются с выделением фосфатов. Далее иловая смесь поступает в аэробную зону, где происходит восстановление полифосфатных связей, которое сопровождается усиленным потреблением фосфатов. В результате циркуляции между анаэробной и аэробной зонами в АИ развиваются фосфатаккумулирующие бактерии (ФАО), которые в аэробной зоне накапливают в три раза больше фосфора, чем обычный АИ. Удаление фосфатов происходит вместе с удалением избыточного АИ. Биореактор 1-й ступени рассчитывается на снижение  $\text{БПК}_{\text{полн}}$  с 400...200 до 40...50  $\text{мгO}_2/\text{л}$ , процесс проводится до начала нитрификации.

Легко заметить, что эффективность удаления фосфора биологическим способом напрямую зависит от прироста биомассы ФАО, а значит от нагрузки на АИ. В биореакторе 1-й ступени нагрузку

можно повышать до значений 800...900 мгБПК<sub>полн</sub>/(г·сут) (прирост АИ при этом составит 0,75...0,8 г/гБПК<sub>полн</sub>), что значительно выше нагрузок, при которых работают наиболее распространенные в мире одноилловые технологии совместного биологического удаления азота и фосфора (УСТ, МУСТ, JNB и др.). В одноилловых схемах нагрузка должна быть снижена до такого значения, при котором стабильно протекает процесс нитрификации (100...200 мгБПК<sub>полн</sub>/(г·сут)), что не позволяет повысить эффективность биологического удаления фосфора. При таких нагрузках прирост ила будет составлять 0,4...0,55 г/гБПК<sub>полн</sub>. Применение предлагаемой двухступенчатой схемы с разными иловыми системами позволит максимально эффективно удалять фосфор и органические вещества на 1-й ступени биологической очистки и соединения азота на второй. Выведение избытка ила лучше осуществлять из тонкослойного илоотделителя, расположенного в конце аэробной зоны биореактора 1-й ступени, так как при выведении его из вторичного отстойника часть фосфатов в анаэробных условиях будет успевать выделяться из бактериальных клеток.

После вторичного отстойника 1-й ступени СВ направляются на 2-ю ступень биологической очистки в аноксидную зону биореактора 2-й ступени, куда также подается возвратный АИ из вторичного отстойника 2-й ступени и иловая смесь из конца нитрификатора. В аноксидной зоне размещаются насадки для прикрепления биомассы. Вид загрузочного материала подбирается по техническим характеристикам: удельной поверхности, устойчивости к заиливанию, способности к регенерации. По дну прокладывается система крупнопузырчатой аэрации, обеспечивающая перемешивание свободноплавающей биомассы при минимальной концентрации растворенного кислорода (до 0,3 мгО<sub>2</sub>/л), а также периодическую регенерацию загрузки. В аноксидной зоне реализуется технология DEAMOX: в условиях ограниченного количества органических веществ происходит частичная денитрификация с образованием нитритов и далее процесс анаммокс. Перед аноксидной зоной в СВ при необходимости подается раствор соды для обеспечения оптимального рН (7,5–8,0). Из аноксидной зоны иловая смесь направляется в нитрификатор, в котором также размещены насадки для закрепления биомассы. В нитрификаторе происходит окисление оставшейся половины азота аммонийного до нитратов. Из нитрификатора иловая смесь поступает во вторичный отстойник 2-й ступени.

После основных этапов стоки подаются в аэробный биореактор доочистки с фиксированной загрузкой, в котором происходит глубокая доочистка СВ от остаточного количества аммония, взвешенных и органических веществ. В биореактор доочистки подается воздух через мелкопузырчатую систему аэрации. Регенерация загрузки осуществляется периодически интенсивным барботированием. Регенерационную воду отводят в усреднитель. В зависимости от требуемой степени очистки стоки после биореактора доочистки могут быть направлены на дополнительную обработку в угольный фильтр. При повышенных остаточных количествах фосфатов перед фильтром следует предусмотреть введение раствора коагулянта небольшой дозой. После угольного фильтра вода направляется на ультрафиолетовое обеззараживание и далее сбрасывается на рельеф или используется в технических целях. Отмывка угольного фильтра предусматривается очищенной водой с подачей воздуха. Промывная вода перекачивается в усреднитель.

Избыточный АИ 1-й и 2-й ступеней подается в блок обработки осадков, где происходит его уплотнение на ленточных сгустителях, механическое обезвоживание и термическая сушка. Высушенный осадок полностью обезврежен и готов к использованию в качестве органического удобрения, в том числе для сельскохозяйственных культур. На очистных сооружениях небольшой производительности термическая сушка может быть заменена биотермическим компостированием или вермикомпостированием.

## ВЫВОДЫ

Рассмотрены и проанализированы существующие технологии очистки СВ с процессом анаммокс и определено, что наиболее подходящей технологией для хозяйственно-бытовых стоков является технология БХ-DEAMOX. Разработано предложение по улучшению данной технологии, позволяющее обеспечивать максимально эффективную биологическую очистку стоков от фосфора и энергоэффективную очистку от соединений азота с применением процесса анаммокс, а также получать ценные незагрязненные органические удобрения, пригодные для использования в сельском хозяйстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Missing lithotroph identified as new planctomycete / M. Strous, J. A. Fuerst, E. H. Kramer [et al.]. – Текст : непосредственный // Nature. – 1999. – Volume 400. – P. 446–449.

2. The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slow growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganism / M. Strous, J. J. Heijnen, J. G. Kuenen [et al.]. – Текст : непосредственный // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1998. – Volume 50. – P. 589–596.
3. Литти, Ю. В. Анаэробное окисление аммония и метаногенез в системах аэробной очистки сточных вод с иммобилизацией микроорганизмов : специальность 03.02.03 «Микробиология», 03.01.06 «Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Юрий Владимирович Литти ; ФГБУН Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского РАН. – Москва, 2012. – 27 с. – Текст : непосредственный.
4. Роль анамокс-бактерий в очистке сточных вод от соединений азота / А. Ю. Каллистова, А. Г. Дорофеев, Ю. А. Николаев [и др.]. – Текст : непосредственный // Микробиология. – 2016. – Том 85, № 2. – С. 126–144.
5. Мультивидовые биопленки в экологии, медицине и биотехнологии / А. Н. Ножевникова, Е. А. Бочкова, В. К. Плакунов [и др.]. – Текст : непосредственный // Микробиология. – 2015. – Том 84, № 6. – С. 623–644.
6. Van Dongen, L.G.J. M. The Combined Sharon/Anammox Process / L.G.J.M. van Dongen, M.S.M. Jetten, Mark C. M. van Loosdrecht. – London : IWA Publishing, 2001. – 64 p. – Текст : непосредственный.
7. Partial nitrification and anammox process: a method for high strength optoelectronic industrial wastewater treatment / A. Daverey, S. H. Su, Y. T. Huang [et al.]. – Текст : непосредственный // Water Research. – 2013. – Volume 47, № 9. – P. 2929–2937.
8. Deammonification for Cost-Effective Sidestream Treatment. – Текст : электронный // MWEA Process Seminar : [сайт]. – November 8, 2017. – URL: [https://mi-wea.org/docs/7.\\_Pugh\\_Lucy-Deammonification\\_for\\_Cost-Effective\\_Sidestream\\_Treatment.pdf](https://mi-wea.org/docs/7._Pugh_Lucy-Deammonification_for_Cost-Effective_Sidestream_Treatment.pdf) (дата обращения: 27.09.2022).
9. Трухина, А. И. Реактивация илов-биокатализаторов после длительного хранения и запуск Deamox-процесса / А. И. Трухина, М. А. Гладченко, С. В. Калужный. – Текст : непосредственный // Биотехнология. – 2010. – № 5. – С. 68–75.
10. Очистка муниципальных сточных вод с повторным использованием воды и обработанных осадков : теория и практика / Н. И. Куликов, А. Н. Ножевникова, Г. М. Зубов [и др.]. – Москва : Логос, 2014. – 400 с. – Текст : непосредственный.
11. Патент № 2749273 С1 Российская Федерация, МПК C02F 3/30, C02F 9/14. Способ глубокой биологической очистки сточных вод с процессом ANAMMOX биоценозом, иммобилизованным на ершовой загрузке : № 2020141572 : заявл. 16.12.2020 : опубл. 07.06.2021 / Вильсон Е. В., Зубов М. Г., Кадревич А. А. – 16 с. – EDN: GKXCXE. – Текст : непосредственный.

Получена 07.10.2022

Принята 28.10.2022

**В. В. МАРКІН**  
**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ ANAMMOX ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ**  
**МІСЬКИХ СТИЧНИХ ВОД**  
**ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»**

**Анотація.** Очищення стічних вод від біогенних елементів є важливим завданням, спрямованим на збереження природних водоймищ від техногенної евтрофікації. З відкриттям процесу анаеробного окислення амонію (ANAMMOX) з'явилася можливість здійснювати очищення стічних вод від сполук азоту більш економічним способом. Однак у зв'язку з фізіологічними особливостями анамокс-бактерій більшість розроблених технологій, заснованих на анамокс-процесі, призначені для обробки стічних вод специфічного складу та властивостей: з підвищеною температурою, високим вмістом азоту та низькою концентрацією органічних речовин. У даній роботі вивчено основні технології очищення стічних вод із застосуванням процесу анамокс, визначено найбільш доцільну технологію для обробки побутових стоків – DEAMOX та розроблено пропозицію щодо її покращення.

**Ключові слова:** стічні води, біологічне очищення, анаеробне окислення амонію, ANAMMOX, SHARON, CANON, DEMON, DEMOX, азот, фосфор.

**VYACHESLAV MARKIN**  
**PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF THE ANAMMOX PROCESS FOR**  
**URBAN WASTEWATER TREATMENT**  
**Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**

**Abstract.** Wastewater treatment from biogenic elements is an important task aimed at preserving natural water bodies from technogenic eutrophication. With the discovery of the process of anaerobic oxidation of ammonium (ANAMMOX), it became possible to treat wastewater from nitrogen compounds in a more

economical way. However, due to the physiological characteristics of anammox bacteria, most of the developed technologies based on the ANAMMOX process are designed to treat wastewater with a specific composition and properties: high temperature, high nitrogen content and low concentration of organic substances. In this paper, the main wastewater treatment technologies using the anammox process have been studied, the most suitable technology for the treatment of domestic wastewater – DEAMOX – has been identified and a proposal for its improvement has been developed.

**Key words:** wastewater, biological treatment, anaerobic ammonium oxidation, ANAMMOX, SHARON, CANON, DEMON, DEMOX, nitrogen, phosphorus.

**Маркин Вячеслав Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

**Маркін В'ячеслав Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення стічних вод.

**Markin Vyacheslav** – Ph. D. (Eng), Senior Lecturer, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: wastewater treatment.