

Научная статья
УДК 628.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФЛОТАЦИИ БЕЗ РЕАГЕНТОВ НА РАБОТУ МЕТАНРЕАКТОРА

Михаил Александрович Карякин

Общество с ограниченной ответственностью «ЭНВИРО-ХЕМИ ГмбХ»,
Екатеринбург, Россия
karjakin@enviro-chemie.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос влияния флотации без реагентов на работу метанреактора. Основной фокус исследования: оценка работы метанреактора, биоценоза при повышенном содержании жиров в стоках. Применимость анаэробного метода для стоков с повышенным содержанием жиров на пищевом предприятии.

Ключевые слова: флотация, очистные сооружения, анаэробные, метанреактор, Biomar ASBx, очистка сточных вод

Для цитирования: Карякин М. А. Исследование влияния флотации без реагентов на работу метанреактора // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 458–464.

Original article

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF FLOTATION WITHOUT REAGENTS ON THE METHANE REACTOR OPERATION

Mikhail A. Karyakin

ENVIRO-CHEMIE GmbH Limited Liability Company, Ekaterinburg, Russia
karjakin@enviro-chemie.ru

Abstract. This article examines the influence of flotation without reagents on the methane reactor operation. The primary focus of the research is to evaluate methane reactor operation and biocenosis with increased fat content in wastewater. The applicability of the anaerobic method to wastewater with increased fat content in a food processing plant.

Keywords: flotation, wastewater treatment facilities, anaerobic, methane reactor, Biomar ASBx, wastewater treatment

For citation: Karyakin M. A. (2026) Issledovanie vliyaniya flotacii bez reagentov na rabotu metanreaktora [Research of the influence of flotation without reagents on the methane reactor operation]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : materials of the XVII International Scientific and Technical Conference]. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 458–464. (In Russ).

Согласно требованиям российского законодательства, а также с учетом негативного влияния на окружающую среду пищевые предприятия обязаны предусмотреть необходимые мероприятия по очистке образующихся сточных вод [1]. При высоких концентрациях органических веществ (ХПК, БПК) в сточной воде эффективным методом очистки являются анаэробные технологии с применением метанреакторов.

В настоящее время увеличение ассортимента молочной промышленности и наращивание производительности молокозаводов приводят к тому, что действующие сооружения для очистки производственных сточных вод не справляются с повышенной нагрузкой [2]. Для очистки сточных вод с содержанием сыворотки применение анаэробных технологий является эффективным решением, которое позволяет существенно сократить занимаемую площадь очистных сооружений, минимизировать образование отходов, а также, оптимизировать эксплуатационные затраты на процесс очистки. Концентрация ХПК в сыворотке может достигать 70000 мг/л [3].

Сточные воды молокозаводов и сырзаводов характеризуются не только высоким значением ХПК и БПК, но и повышенной концентрацией жиров. Жиры оказывают негативное влияние на основные биологические процессы очистки, поэтому удаление жиров перед анаэробной стадией очистки является обязательным этапом подготовки сточной воды. В качестве предварительной стадии очистки принято использовать флотационные методы. Флотация является сложным физико-химическим процессом, заключающимся в создании комплекса частица – пузырек воздуха или газа, всплывании этого комплекса и удалении образовавшегося пенного слоя с высоким содержанием нерастворимых веществ (жиры, взвеси и т. д.) [2].

Допустимая остаточная концентрация жиров для подачи на биологическую анаэробную очистку предварительно очищенных сточных вод флотационным методом должна составлять менее 30 мг/л. Данные значения обычно достигаются с применением соответствующих реагентов на флотационной установке (коагулянт, щелочь натрия, флокулянт).

Применение реагентов увеличивает эксплуатационные затраты и занимает существенную долю в себестоимости очистки стоков предприятия.

Таким образом, цель лабораторных исследований состояла в оценке работоспособности анаэробной стадии очистки типа Biomar ASBx предварительно очищенного с использованием безреагентной флотации стока в условиях повышенного содержания жиров и взвешенных веществ (выше установленных лимитов) и с добавлением сыворотки в известной пропорции. Потенциально это позволит существенно снизить производственные и эксплуатационные затраты на очистные сооружения [5].

Научно-исследовательский центр ООО «ЭНВИРО-ХЕМИ ГмбХ» оборудован реактором анаэробной очистки типа Biomar ASB объемом 4 л (рис. 1), который представляет собой метановый биореактор с восходящим потоком сточной воды через слой анаэробного ила.

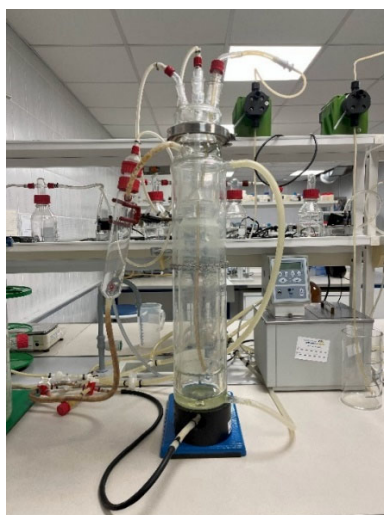


Рис. 1. Внешний вид модели анаэробного реактора Biomar ASB

Схема работы лабораторной модели метанового биореактора типа ASB представлена на рис. 2.

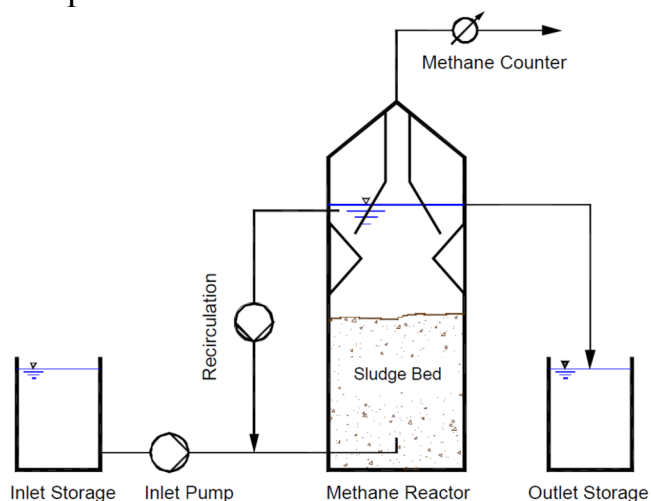


Рис. 2. Схема работы лабораторного метанреактора типа ASB

Принцип работы ASB-реактора: сточная вода подается в нижнюю часть метанреактора, за счет системы рециркуляции и выделения в процессе очистки пузырьков газа сток проходит вверх через слой гранулированного ила, в ходе чего происходит разложение органических веществ анаэробными бактериями с образованием биогаза – метана и углекислого газа. Анаэробный биореактор оснащен системой рециркуляции, которая поддерживает ил во взвешенном состоянии, обеспечивая интенсивное протекание анаэробной очистки, а также способствуя полноценному удалению образовавшегося биогаза из реакционного объема. Работа реактора проходит в мезофильном режиме при температуре 33–36 °С.

Для запуска и эксплуатации лабораторного биореактора типа ASB использовался свежий крупногранулированный анаэробный ил с локальных полнофункциональных очистных сооружений. Два килограмма ила с общим содержанием твердых сухих веществ 72 г/кг (7,2 %) и органических сухих веществ 64 г/кг (6,4 %) были загружены в реактор вместе с двумя литрами анаэробных вод. Перед началом испытаний устанавливалась метаногенная активность загруженного анаэробного ила.

В пробы сточных вод, отобранных после безреагентной флотационной обработки, добавлялась сыворотка в соотношении 35:1 (сточная вода : сыворотка). В конце исследований сыворотка добавлялась в соотношении 10:1 для повышения исходного значения ХПК сточной воды. В случае необходимости в приготовленных смешанных пробах регулировалась величина рН перед подачей воды в анаэробный биореактор. Постоянно контролировалось содержание ХПК, жиров, соединений азота путем проведения химических анализов. Полученные значения фиксировались в таблице с составлением соответствующих графиков для оценки результатов.

Как видно из рис. 3 (черная линия), концентрация ХПК в пробах сточных вод после безреагентной флотационной обработки варьируется от 2230 до 5450 мг/л. Исключая пиковые значения, содержание ХПК в среднем составляет ~2600 мг/л. Добавление в сточную воду сыворотки (рис. 3 синяя линия): в соотношении 35:1 привело к увеличению исходной концентрации ХПК в ~1,5 раза до ~3800 мг/л; в соотношении 10:1 величина ХПК возросла в ~2,2 раза до ~7100 мг/л.

На рис. 3 можно увидеть значительные колебания содержания жиров (8–1500 мг/л) в пробах сточной воды. Причем в 10 партиях воды из 13 (77 %) наблюдалось их существенное превышение относительно предельных значений для анаэробного биореактора 30 мг/л для жиров. Поскольку флотационная обработка воды проводилась без реагентов, то такая вариабельность концентраций свидетельствует о неравномерности

поступления сточных вод предприятия и переменном качественном характере стоков.

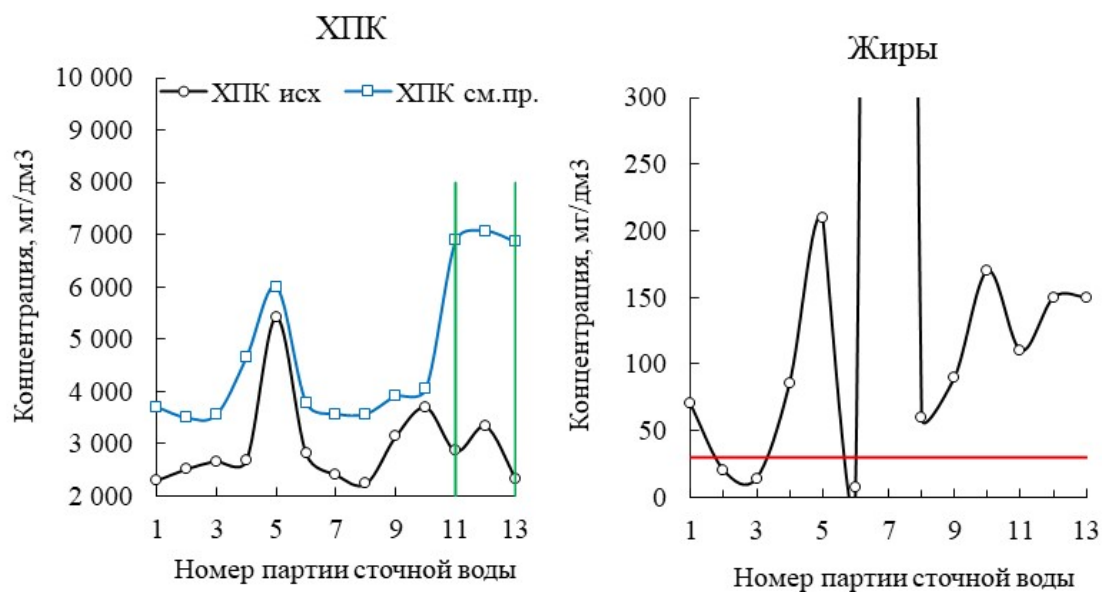


Рис. 3. Изменение концентрации ХПК и жиров в зависимости от партии воды

В ходе эксперимента продолжительностью несколько месяцев проводился регулярный мониторинг ключевых параметров, характеризующих метаболическую активность анаэробного ила в реакторе: химическое потребление кислорода фильтрованной пробы (ХПК_{фильтр}), концентрация летучих органических кислот (ЛОК), значение величины рН, а также суточный объем выделившегося метана. Массовая нагрузка по ХПК (кг ХПК / кг сухого вещества анаэробного ила в сутки) увеличивалась ступенчато. На начальном этапе эксперимента нагрузка возрастала в 2–3 раза по сравнению с исходным значением 0,01 кг ХПК/кг СВ ила в сутки, затем прирост составлял 20–25 % каждую неделю, а к концу исследований – 7 % и достигал 0,52 кг ХПК/кг СВ ила в сутки.

Из рис. 4 видно, что увеличение массовой нагрузки на ил с 0,01 до 0,48 кг ХПК/кг СВ ила в сутки значительно не влияло на степень деградации загрязнений сточной воды, поступающей на очистку, которая варьировалась от 90 до 95 %. Однако при повышении массовой нагрузки свыше 0,48 кг ХПК/кг СВ ила в сутки наблюдалось снижение удельной скорости удаления ХПК до 68 %.

Увеличение массовой нагрузки по ХПК свыше 0,48 кг ХПК/кг СВ ила в сутки приводит к ухудшению качества очистки по органическим загрязнениям, о чем свидетельствует максимум на рис. 5 черной линии, при котором концентрация ХПК исходной воды составляет ~6800 мг/дм³, а очищенной – 2200 мг/дм³, т. е. в ходе анаэробной очистки было удалено ~ 68 % ХПК.

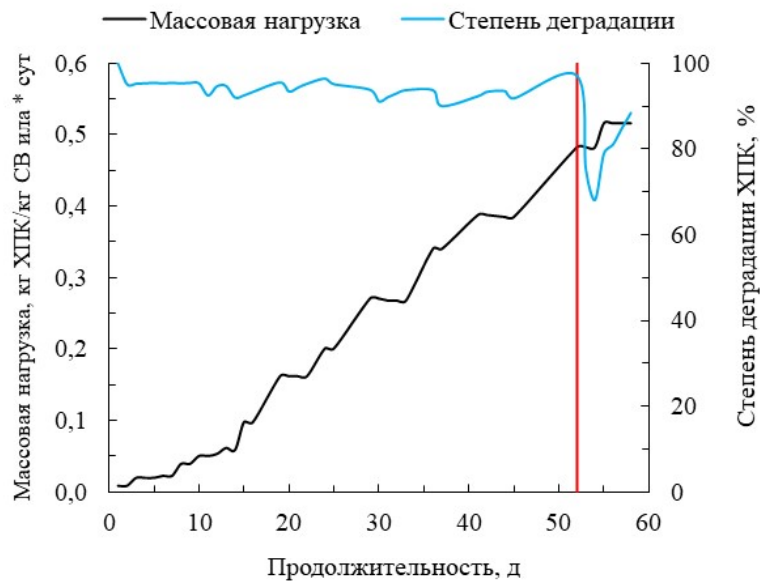


Рис. 4. Динамика увеличения нагрузки по ХПК на единицу массы анаэробного ила (черная линия) в сутки и удельная скорость удаления ХПК (синяя линия)

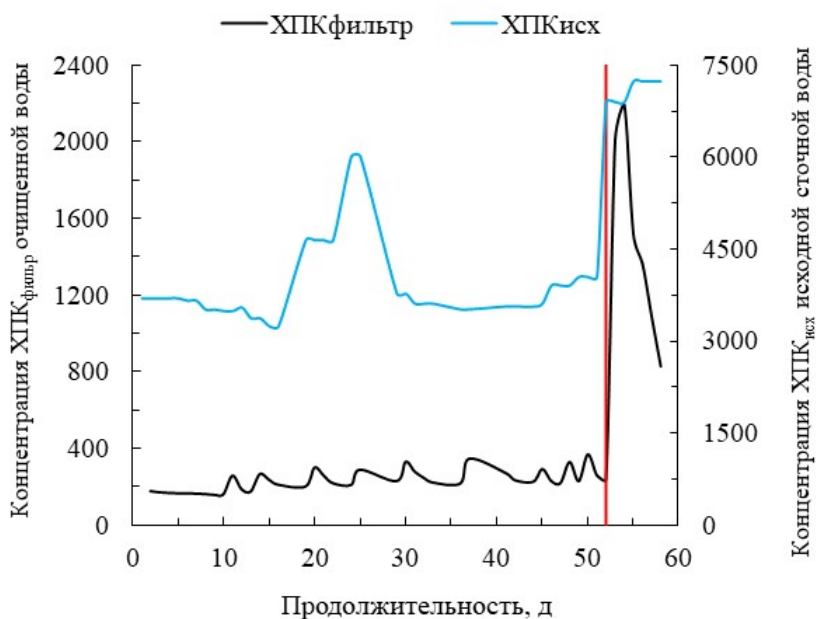


Рис. 5. Концентрация ХПК исходной и очищенной (фильтрованной) сточной воды

В ходе эксперимента установлена оптимальная массовая нагрузка в анаэробном реакторе Biomar ASBx по ХПК на массу анаэробного ила, которая составляет 0,25–0,4 кг ХПК/кг СВ ила в сутки. При такой нагрузке все анаэробные процессы работали стабильно. Данный диапазон можно принять для расчета промышленного реактора.

Аналитический контроль очищенной воды показал, что биоразлагаемые вещества практически полностью удаляются из сточных вод на анаэробной ступени очистки в реакторе Biomar ASBx при нагрузке до 0,48 кг ХПК/ кг ила в сутки концентрация ХПК снижается до ~ 250 мг/л, а БПК до ~ 70 мг/л.

Список источников

1. О водоснабжении и водоотведении : Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025) // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867/ (дата обращения: 22.01.2026).
2. Глытян А. А., Короткова Т. Г. Очистные сооружения молокозавода для очистки производственных сточных вод // Научные труды КубГТУ. 2019. № 3. С. 774–784. EDN ZQZKIH.
3. Прикладная экобиотехнология / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, М. Энгельхарт [и др.]. М., 2010.
4. Калюжный С. В., Данилович Д. А., Ножевникова А. Н. Биотехнология. Анаэробная биологическая очистка сточных вод // Итоги науки и техники. М., 1992.
5. Методы очистки сточных вод флотацией / В. И. Щербаков, А. А. Амин, З. С. Абрахам [и др.] // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2011. № 1 (4). С. 115–120. EDN OGZOSR.

References

1. On Water supply and sanitation : Federal Law No. 416-FZ of 07.12.2011 (as amended on 08.08.2024) (as amended and supplemented, intro. effective from 01.01.2025) // ConsultantPlus : [website]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_122867 (date of accessed: 22.01.2026).
2. Glytyan A. A., Korotkova T. G. Dairy sewage treatment plants for industrial wastewater treatment // Scientific works of KubSTU. 2019. No. 3. P. 774–784. EDN ZQZKIH.
3. Applied ecobiotechnology / A. E. Kuznetsov, N. B. Gradova, M. Engelhart [et al.]. M., 2010.
4. Kalyuzhny S. V., Danilovich D. A., Nozhevnikova A. N. Biotechnology. Anaerobic biological wastewater treatment // Results of science and technology. M., 1992.
5. Methods of wastewater treatment by flotation / V. I. Shcherbakov, A. A. Amin, Z. S. Abraham [et al.] // Scientific Journal. Engineering systems and structures. 2011. No. 1 (4). P. 115–1120. EDN OGZOSR.